



Vliv vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: Dominik Nejman

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.





TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Influence of selected technological parameters on useful power during milling

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering
Author: **Dominik Nejman**
Supervisor: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dominik Nejman**

Osobní číslo: **S12000146**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Název tématu: **Vliv vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování**

Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše literárních poznatků o vlivu různých technologických parametrů na proces frézování.
2. Výběr technologických parametrů, které významně ovlivní užitečný výkon při frézování.
3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu vybraných technologických parametrů na proces frézování.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení vlivu technologických parametrů na proces frézování.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Vliv vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování

ANOTACE:

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování. Užitečný výkon byl získán pomocí dvou zařízení, která pracovala současně a to: třífázový analyzátor výkonu DW 6069 – 0 a dynamometr Kistler. Dalším cílem bylo zjistit vliv vybraných technologických parametrů na drsnost povrchu při frézování. Všechny měření byly uskutečněny na frézce FNG 32, obráběcím nástrojem byla čelní fréza Narex 2460.2 s vyměnitelnou břitovou destičkou SPGN – S20120304.

Influence of selected technological parameters on useful power during milling

ANNOTATION:

The bachelor thesis is focused on determination of influence of specific parameters on useful power during the milling work. The power was determined by two devices, which worked simultaneously and was it: three-phase performance analyzer DW6069 - 0 and dynamometr Kistler. The next goal of this work was determinate the influence of those technological parameters on roughness after the milling work. All of these measurements were realized on milling machine FNG 32, with face milling cutter Narex 2460.2 and as a insert was used SPGN - S20120304.

Klíčová slova:

Key words:
work

Zpracovatel:

Dokončeno:

Obrábění, užitečný výkon, frézování
machining, useful power, milling

TU v Liberci, KOM

2016

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **1284**

Jméno a příjmení: **Dominik Nejman**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant: Ing. Milan Ledvina

Počet stran: 79

Počet příloh: 0

Počet tabulek: 38

Počet obrázků: 36

Počet diagramů: 10

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc a konzultantovi Ing. Miloslavu Ledvinovi za cenné připomínky a odborné rady při vypracování této bakalářské práce.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	11
1 Úvod	12
2 Frézování	13
2.1 Základní způsoby frézování	13
2.1.1 Válcové frézování	13
2.1.2 Čelní frézování	14
2.2 Frézovací nástroje	14
2.2.1 Geometrie břitu frézy	15
2.3 Frézovací stroje	16
3 Výpočet výkonu	16
3.1 Řezná síla a její složky	16
3.1.1 Vlivy působící na velikost řezných sil	17
3.2 Nepřímé měření řezných sil	19
3.3 Přímé měření řezných sil	20
4 Technické parametry stroje, nástroje, VBD a chlazení	21
4.1 Obráběcí stroj	21
4.2 Nástroj a břitová destička VBD	22
4.3 Chladicí zařízení	23
5 Experimentální část měření	24
5.1 Příprava procesních kapalin	24
5.2 Příprava materiálu na obrábění	24
5.3 Příprava vyměnitelné břitové destičky (VBD)	25
5.4 Metodika měření	27
5.4.1 Příprava měření	27
5.5 Určení užitečného výkonu $P_{už}$	28
5.6 Určení drsnosti R_a , R_z a materiálového poměru profilu c_{pt50}	30

6 Realizace experimentů.....	32
6.1 Realizace experimentů při vybraných technologických parametrech na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování.....	32
6.1.1 Experiment 1	32
6.1.2 Experiment 2	40
6.1.3 Experiment 3	46
6.1.4 Experiment 4	52
6.1.5 Experiment 5	58
7 Hodnocení experimentů	66
7.1 Hodnocení vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování.....	66
7.1.1 Hodnocení experimentu 1	66
7.1.2 Hodnocení experimentu 2	68
7.1.3 Hodnocení experimentu 3	70
7.1.4 Hodnocení experimentu 4	72
7.1.5 Hodnocení experimentu 5	74
8 Závěr	76
8.1 Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků	76
Seznam použité literatury	80

Seznam použitých zkratk a symbolů

F	[N]	výsledná řezná síla
F_c	[N]	složka hlavní řezné síly
F_f	[N]	složka posuvové řezné síly
F_p	[N]	složka přísuvové řezné síly
F_e	[N]	průmět výsledné řezné síly F do směru vektoru výsledného řezného pohybu
v_e	[m/min]	vektor výsledného řezného pohybu
a_p	[mm]	hloubka záběru
f	[mm/ot]	posuv na otáčku
v_f	[m/min]	posuvová rychlost
v_p	[m/min]	přísuvočná rychlost
v_c	[m/min]	rychlost hlavního řezného pohybu
x, y, z	[-]	osy souřadného systému
Q_v	[l.min ⁻¹]	průtočné množství
t_l	[°C]	teplota kapaliny
t	[s]	čas
A	[J]	celková práce
l	[m]	dráha
P	[W]	výkon
P_f	[W]	výkon posuvu
P_p	[W]	výkon přísuvu
P_c	[W]	výkon hlavního řezného pohybu
$P_{už}$	[W]	užitečný výkon
P_1	[W]	příkon za chodu stroje
P_0	[W]	příkon stroje za chodu naprázdno
R_a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_z	[μm]	největší výška profilu
c_{tp50}	[μm]	materiálový poměr profilu
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel břitu
γ_0	[°]	úhel čela
δ	[°]	úhel řezu

1 Úvod

Ve strojírenské výrobě se nenajdou téměř žádné součástky, při jejichž výrobě by nebyly použity některé způsoby obrábění. Tento fakt ukazuje, jak velký význam proces obrábění v současné době má [1].

Frézování patří mezi základní druhy obrábění. Je to operace, při které je z obrobku odebírána vrstva materiálu – třísky. Nejčastěji se využívá pro obrábění rovinných a tvarových ploch, ale i pro výrobu závitů, drážek a ozubení [2]. Touto metodou můžeme dosáhnout značné jakosti a přesnosti povrchu po obrábění. Jakost obrobeného povrchu je dána správnou volbou stroje, nástroje, řezných podmínek a v neposlední řadě procesního média.

Při frézování vznikají řezné síly, proti kterým působí odpor obrobku. Jsou to síly F_c , F_p a F_f , tyto síly lze složit do výsledné řezné síly F . Velikosti složek sil jsou závislé zejména na materiálu obráběné součásti, nástroji a na způsobu frézování [3].

Bakalářská práce se zabývá vlivy vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování. Výkon je závislý na velikosti řezných sil, ze kterých se vypočítá jeho hodnota. Proto je výkon, stejně jako síly ovlivněn druhem obráběného materiálu, posuvem, hloubkou řezu, řeznou rychlostí a řeznými úhly.

Práce byla zadána a vznikala na katedře obrábění a montáže, která je součástí fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

Cílem bakalářské práce je:

- zkoumat vlivy vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování,
- změření hlavní řezné síly F_c působící při frézování pomocí dynamometru Kistler a z naměřené řezné síly F_c vypočítat užitečný výkon $P_{už}$,
- změření příkonu při chodu stroje a při chodu stroje naprázdno pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW – 6092 při frézování, z naměřených hodnot vypočítat užitečný výkon $P_{už}$,
- porovnání výsledných hodnot užitečného výkonu $P_{už}$, změřeného pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW – 6069 a dynamometru Kistler,
- stanovení drsnosti povrchu po procesu frézování.

2 Frézování

Frézování je obráběcí proces, při kterém dochází k odebírání materiálu obrobku. Úbytek materiálu je realizován břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná obráběná součást ve směru kolmém k ose nástroje. V současné době nám frézovací stroje umožňují tyto posuvné pohyby plynule měnit a uskutečnit ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Každý zub v záběru odřezává krátké třísky různé tloušťky [4].

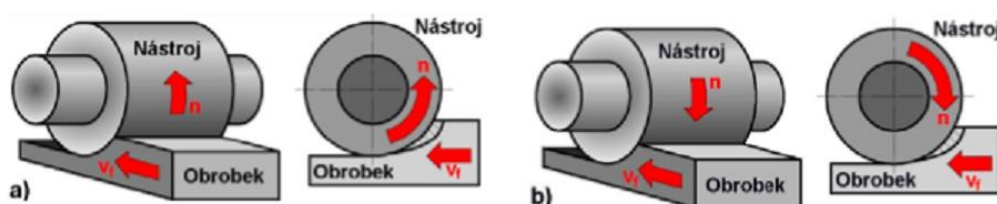
Touto metodou, lze obrábět především plochy rovinné, tvarové, šikmé, nepravidelné, rotační a také vyrábět drážky a ozubená kola.

2.1 Základní způsoby frézování

V závislosti na použitém nástroji se frézování dělí na dva druhy a to válcové a čelní. Od těchto dvou způsobů se odvozují další metody, jako frézování okružní a planetové [4].

2.1.1 Válcové frézování

Tento druh frézování se nejčastěji používá při práci s tvarovými a válcovými frézami. Zuby jsou uspořádány po celém obvodu frézy. Hloubka odebírané vrstvy je ve směru kolmo na osu nástroje a směru posuvu. Vzniklá obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení nástroje. Válcové frézování lze rozlišit na frézování nesousledné (protisměrné) a sousledné (sousměrné) [5]. Tyto způsoby jsou znázorněny na obrázku 1.



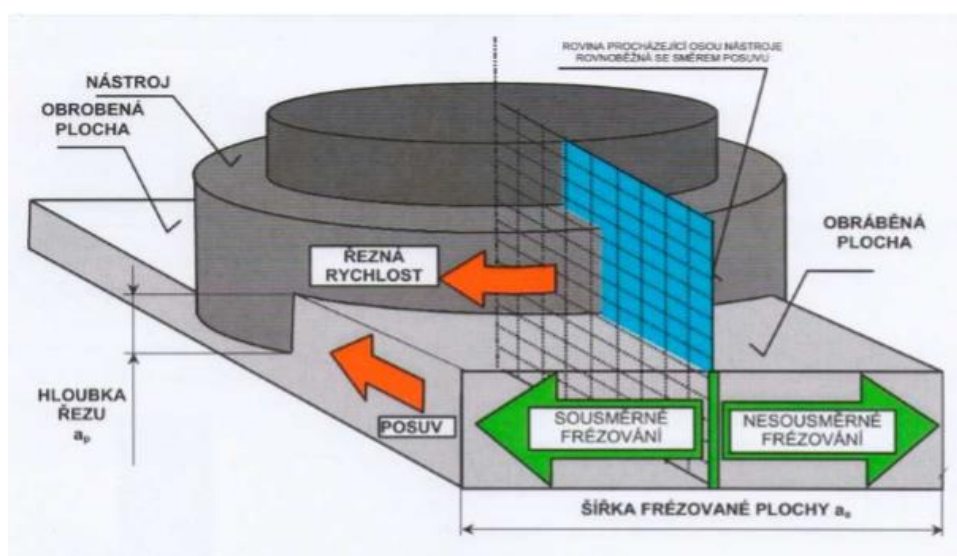
Obr. 1 Válcové frézování, a) nesousledné, b) sousledné [5]

Při nesousledném frézování (protisměrném) se nástroj otáčí v místě řezu proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká v důsledku vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky je proměnná a postupně roste z hodnoty nulové až na hodnotu maximální [4].

Otáčení nástroje při sousledném (sousměrném) frézování je takový, že se ostří v místě styku s obrobkem pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se zde mění z maximální hodnoty do hodnoty minimální („nulové“) [4].

2.1.2 Čelní frézování

Frézování čelní se používá při obrábění s čelními frézami, kde břity nástroje jsou nejen na obvodu, ale i na čele. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu, hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje [4]. Obrobená plocha je kolmá na osu otáčení nástroje a při každém otočení frézy se obrobek posune o vzdálenost, jejíž délka je stejná jako hodnota posuvu na otáčku. Tloušťka třísky se zde od vstupu zvětšuje až ke středu odřezávané vrstvy a naopak od středu klesá k místu výstupu břitu z materiálu. Čelní frézování je proti válcovému výkonnější, protože dochází k záběru více zubů současně, to dovoluje používat větší posuv obrobku [2]. Čelní frézování je znázorněno na obrázku 2.



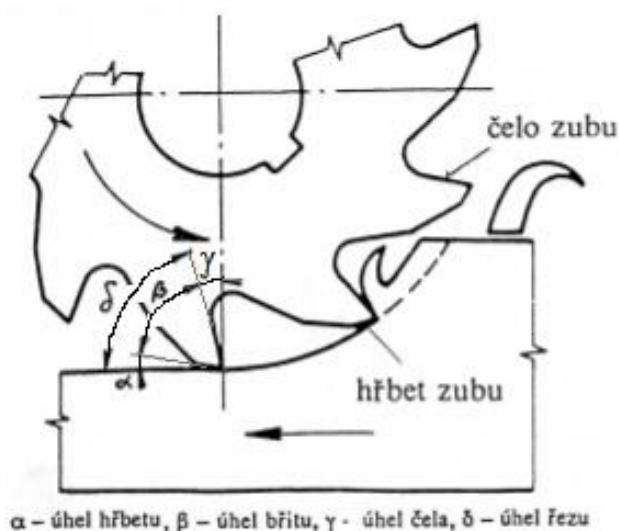
Obr. 2 Čelní frézování [2]

2.2 Frézovací nástroje

Nástroje u frézování nazýváme frézy. Frézy jsou několikabřité nástroje, jejichž břity jsou uloženy na válcové, čelní nebo jiné tvarové ploše. V souvislosti širokého uplatnění frézování ve výrobě a technologii, se v dnešní době využívá mnoho typů fréz. Frézy lze rozdělit do několika skupin a to podle nástrojového materiálu, tvaru zubů, směru zubů, konstrukčního uspořádání a geometrického tvaru [4].

2.2.1 Geometrie břítu frézy

Aby docházelo k úběru třísky, musí být břit nástroje upraven. Každý zub frézy má tvar klínu, který je zakončen břitem. Ten je tvořen čelem, hřbetem a ostřím, které vznikne na průsečíku čela a hřbetu. Ostří má schopnost odřezávat třísky, čím ostřejší, tím dochází k jednoduššímu vnikání nástroje do materiálu [2]. Geometrie břítu je znázorněna na obrázku 3.



Obr. 3 Geometrie břítu frézy [2]

Geometrie břítu je tvořena polohou ploch nástroje a obrobku, kde vzniká soustava úhlů. Velikosti těchto úhlů jsou vztažené k druhu obráběného materiálu. U normalizovaných fréz mají danou hodnotu, příklady jsou na obrázku 4 [2].

Obráběný materiál	Úhel čela γ (°)	Úhel hřbetu α (°)
ocel do pevnosti 600 MPa	12 - 20	5 - 8
ocel do pevnosti 850 MPa	8 - 12	4 - 6
šedá litina do tvrdosti 120 HB	6 - 10	5 - 6
šedá litina nad tvrdost 180 HB	4 - 20	3 - 5
měď	12 - 20	5 - 6
mosaz, bronz	0 - 12	4 - 8
lehké slitiny	15 - 30	8 - 12
plasty	0 - 15	4 - 6

Obr. 4 Přehled úhlů v závislosti na materiálu obrobku [2]

2.3 Frézovací stroje

Stroje pro frézování nazýváme frézky. Frézky jsou vyráběny v rozsáhlém množství modelů a velikostí. Nejčastěji se dělí do čtyř skupin – stolové, konzolové, rovinné a speciální. Další rozdělení je podle obsluhy, kde se frézky rozdělují na ovládané ručně nebo řízené programem (automatizace).

Velikost frézky je závislá na šířce upínací části stolu a velikosti kužele pro upnutí frézy ve vřetenu [4].

3 Výpočet výkonu

Obráběcí stroj potřebuje pro svou správnou funkci během procesu obrábění dostatečný výkon. Obecně se výkon rovná celkové práci, která byla odvedena za jednotku času, při zanedbání veškerých ztrát. Platí

$$P = A * t^{-1} \text{ [W]}$$

a protože obecně

$$A = F * l \text{ [J]}$$

potom bude

$$P = F * \frac{l}{t} = F * v \text{ [W]}$$

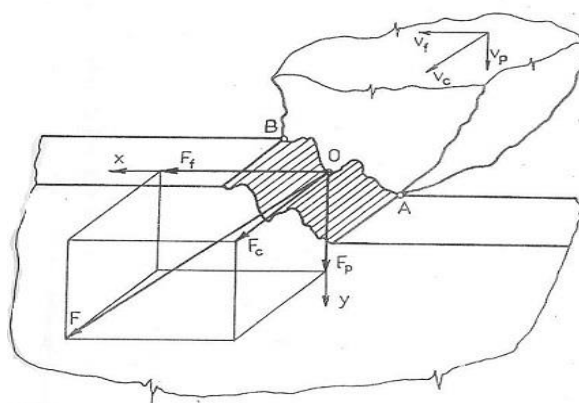
Po odvození vyplývá, že velikost výkonu je závislá na velikosti řezné síly F a rychlosti v , kde výkon je jejich skalárním součinem [1].

Výkon při obrábění můžeme určit dvěma způsoby. První možností je nepřímé měření řezných sil a druhou metodou je přímé měření řezných sil, které se určí pomocí dynamometru.

3.1 Řezná síla a její složky

Při obrábění působí na břit nástroje síly odporu, které brání posuvu nástroje po dráze řezání. Tyto síly jsou v rovnováze s řeznými silami, jejich výslednici značíme jako řeznou sílu F [1].

Vektor výsledné řezné síly F má v obecném případě různou velikost, směr a smysl, v závislosti na podmínkách obrábění. Při obrábění byl přijat systém orientace os, který je znázorněn na obrázku 5. Vektor výsledné řezné síly F se pak promítne na osy x , y , z [1].



Obr. 5 Řezná síla a její složky [1]

Posuvná řezná síla F_f je tvořena průmětem na osu x. Tato složka je rovna síle odporu obráběného materiálu, ta působí proti vnikání nože ve směru posuvu nástroje. Je důležitá pro výpočet ložisek vřetene a mechanismu stroje [1].

Prísuvová řezná síla F_p je tvořena průmětem na osu y. Dochází k průhybu obráběné součásti. To může mít za následek snížení přesnosti a vyvolat vibrace [1].

Hlavní řezná síla F_c je tvořena průmětem na osu z. Je-li působíště výsledné síly F ve výši osy rotace obrobku, pak se shodují vektory F_c a v_c do nositelky směru a smyslu, rozdílná je pouze velikost. Tečná složka F_c je rovna součtu působení sil odporu kovu [1].

3.1.1 Vlivy působící na velikost řezných sil

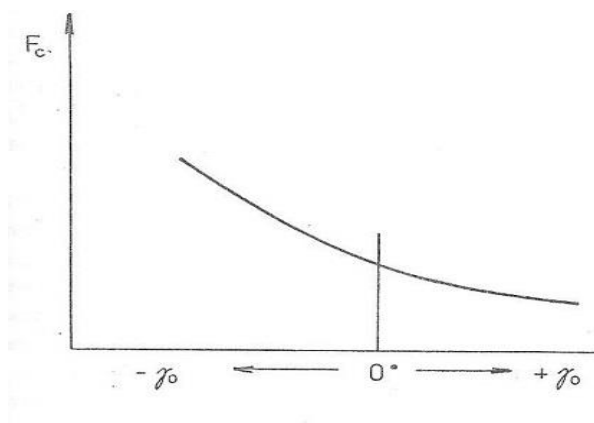
Velikost řezné síly je závislá na řadě parametrů. Za rozhodující se považuje 10 veličin, které se ve většině případů používají pro výpočet samotné řezné síly.

Vliv obráběného materiálu

Při volbě rozdílných materiálů pro obrábění a konstantních řezných podmínkách, budou vyvolány rozdílné řezné síly. Za příčinu se považují jejich rozdílné chemické a fyzikální vlastnosti. Vysvětlení může znít, že vzrůstající pevnost v tahu, popřípadě tvrdost způsobuje nárůst řezné síly [1].

Vliv úhlu čela γ_0

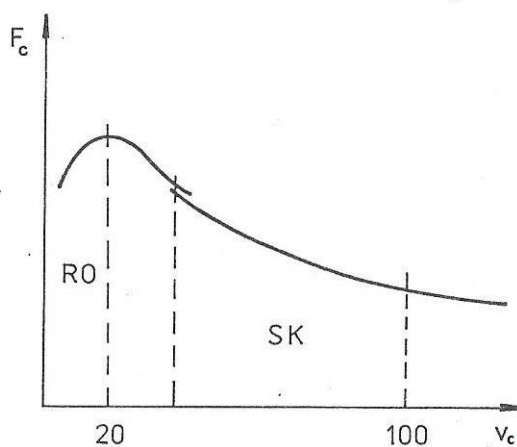
Úhel čela, který můžeme znázornit grafem na obrázku 6. Můžeme z něj vyčíst, že řezná síla F_c roste, jestliže úhel čela nabývá záporných hodnot. Naopak při růstu do kladných hodnot, pozorujeme pokles řezné síly. Kronenberg dokonce tvrdí, že změna byť jen o jediný stupeň, vede ke změně velikosti řezné síly o 1% pro ocel. Tyto poznatky jsou v intervalu $\gamma_0 < -20; 30 >$ stupňů [1].



Obr. 6 Vliv úhlu čela [1]

Vliv řezné rychlosti

Na obrázku 7 můžeme vidět vliv řezné rychlosti. V rozsahu rychlostí 100 až 600 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, kde se tvoří plynulá tříska, sledujeme pokles řezné síly s rostoucí řeznou rychlostí relativně pomalu. Přesně naopak je tomu při nízkých řezných rychlostech. Vidíme, že řezná síla při poklesu řezné rychlosti ze 100 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ na 20 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, naopak silně vzrůstá. Růst řezné síly ve vymezeném intervalu je asi 20% a platí pro materiály z oceli [1].



Obr. 7 Vliv řezné rychlosti [1]

Vliv nástrojového materiálu

Při obrábění oceli bylo zjištěno, že při aplikaci keramických břitových destiček, dojde k poklesu řezné síly F_c o 5 – 10% oproti použití nástroje ze slinutých karbidů. Obráběním s nástrojem z rychlořezné oceli vzroste síla o 5%, při zachování stejných řezných podmínek [1].

Vliv procesních kapalin

Použitím procesních kapalin může být výrazně snížena řezná síla oproti obrábění za sucha. Podle některých poznatků v tomto oboru, můžeme počítat se snížením řezné síly o 10 - 15% [1].

Vliv opotřebení břitů řezného nástroje

Při obrábění dochází k opotřebení nástroje. Postupem času se opotřebovaná ploška zvětšuje a má za následek nárůst řezné síly. Největší vliv na nárůst řezné síly má opotřebení hřbetu, kdy může síla F_c vzrůst o 30 - 50%, složky řezné síly rostou úměrně spolu s ní [1].

3.2 Nepřímé měření řezných sil

V praxi si pro běžná měření nejčastěji vystačíme i s méně přesnými výsledky stanovení střední hodnoty řezné síly. Proces spočívá v tom, že měříme výkon nebo krouticí moment na vřetení stroje a vypočítáme hlavní složku řezné síly. Pro odřezání třísky je potřebný celkový výkon, který je dán vztahem [6]:

$$P_{už} = P_c + P_f + P_p \text{ [W]}.$$

Skutečně užitý výkon při procesu obrábění lze stanovit z výrazu:

$$P_{už} = F_e * v_e \text{ [W]}.$$

Výslednou řeznou sílu můžeme rozložit do tří základních směrů pohybu, pak při použití správných rychlostí těchto pohybů lze použít rovnici.

$$P_{už} = F_c * v_c + F_p * v_p + F_f * v_f \text{ [W]}.$$

Rychlost posuvu a přísuvu jsou řádově 10^{-3} velikosti řezné rychlosti, proto je možné uvažovat o tom, že tyto rychlosti jsou zanedbatelné. Poněvadž se při výpočtu výkonu nedopouštíme chyby s odchylkou větší než 0,1% [6]. Uvažujeme tedy

$$F_f * v_f = 0 \text{ a}$$

$$F_p * v_p = 0 .$$

Vztah pro výpočet výkonu se nám tedy zjednoduší na tvar

$$P_{už} = F_c * v_c \text{ [W]}.$$

Odtud

$$F_c = \frac{P_{už}}{v_c} \text{ [N]}.$$

Tento vztah slouží pro výpočet hlavní řezné síly F_c , zbývá tedy změřit odebíraný výkon $P_{už}$. Ten získáme přibližně, jako rozdíl příkonu P_1 za chodu stroje při obrábění a P_0 při chodu stroje naprázdno [6].

$$P_{u\dot{z}} = P_1 - P_0 .$$

Pro měření výkonu se nejčastěji používají soustavy wattmetrů.

3.3 Přímé měření řezných sil

Přímé měření řezných sil je oproti nepřímému měření řezných sil přesnější. Navíc nám dává možnost měření jednotlivých složek sil. Pro měření se používají různé typy dynamometrů. Metoda spočívá v měření a identifikaci pružných deformací základního elementu – čidla. Velikost deformace čidla je dána velikostí působící řezné síly nebo její složky [7].

Podle počtu měřených veličin se dynamometry dělí na dvě skupiny. Jsou to dynamometry jednosložkové nebo vícesložkové. Jednosložkové určují pouze některé řezné síly. Vícesložkové jsou schopné měřit několik veličin současně, podle počtu čidel [7].

U dynamometrů je důležité, aby disponovaly dostatečnou tuhostí, citlivostí, stabilitou a malou setrvačností.

4 Technické parametry stroje, nástroje, VBD a chlazení

Veškeré použité stroje a zařízení jsou součástí vybavení laboratoře katedry obrábění a montáže na Technické univerzitě v Liberci.

4.1 Obráběcí stroj

Pro všechny provedené operace při obrábění byla použita frézka FNG 32 (obr. 8) od výrobce TOS Olomouc s.r.o. Parametry frézky jsou uvedeny v tabulce 1.

Frézka FNG 32		
Technické údaje	Hodnota	Jednotky
Rozměr pracovní plochy	800 x 400	[mm]
Upínací drážky	7	-
Maximální zatížení stolu	350	[kg]
Pracovní zdvih podélný (x)	600	[mm]
Pracovní zdvih příčný (y)	400	[mm]
Pracovní zdvih svislý (z)	400	[mm]
Výkon hlavního motoru	4	[kW]
Výkon posuvného motoru	1,1	[kW]

Tabulka 1 Parametry stroje [9]



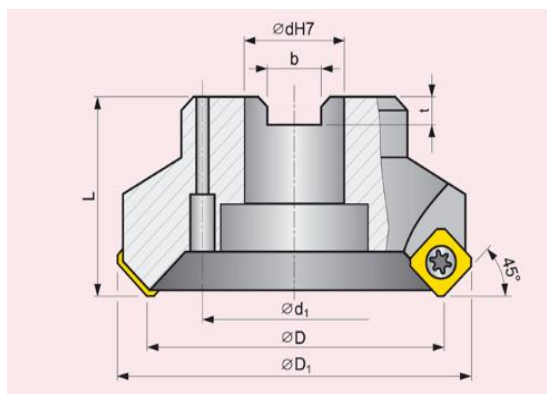
Obr. 8 Frézka FNG 32

4.2 Nástroj a břitová destička VBD

Pro obrábění byla použita čelní frézovací hlava od výrobce Narex s označením 2460.2. Parametry frézky jsou uvedeny v tabulce 2 a na obrázku 9 jsou zobrazeny její rozměry. Nástroj je na obrázku 10.

Narex 2460.2		
Rozměry	Hodnota	Jednotky
D	50	[mm]
d	38	[mm]
b	12,4	[mm]
t	7	[mm]
L	65	[mm]
dH7	27	[mm]
D ₁	52	[mm]
zubů	5	-

Tabulka 2 Technické parametry frézy [8]

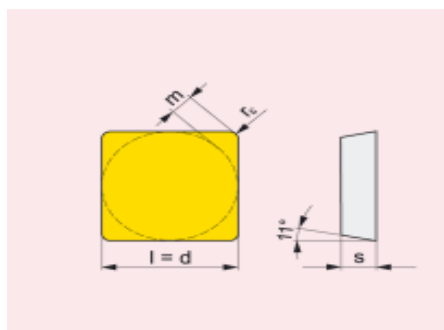


Obr. 9 Rozměry frézy [8]



Obr. 10 Fréza Narex 2460.2

Použitá břitová destička byla od výrobce PRAMET s označením SPGN - S20120304, je zobrazena na obrázku 11. Technické parametry VBD v tabulce 3.



Obr. 11 VBD SPGN – S20120304 [8]

VBD SPGN		
Rozměry	Hodnota	Jednotky
l	12,7	[mm]
d	12,7	[mm]
s	3,18	[mm]
m	2,47	[mm]
r _e	0	[mm]

Tabulka 3 Technické parametry VBD [8]

4.3 Chladicí zařízení

Přívod procesní kapaliny do místa řezu byl zajištěn pomocí chladicí sestavy na obrázku 12. Soustava je tvořena z nádrže o objemu 2,5 litru, ke které je připojen kohout pro regulaci průtočného množství procesní kapaliny. Koncovou část tvoří hadice, která přivádí procesní kapalinu do místa řezu. Chladicí soustava je obepnuta objímkou, která slouží ke spojení chladicího zařízení s frézou. Tato chladicí soustava přiváděla do místa řezu emulzi a řezný olej.



Obr. 12 Chladicí soustava

Druhé použité zařízení MQL (obr. 13) dodávalo do místa řezu mazivo ve formě aerosolu. Jako mazivo bylo použito Accu - Lube LB – 2000 na bázi přírodních triglyceridů. Zařízení bylo připojeno ke stroji pomocí čtyř magnetů a pomocí hadice s tryskou bylo mazivo přiváděno do místa řezu.



Obr. 13 Mikromazací zařízení MQL

5 Experimentální část měření

5.1 Příprava procesních kapalin

Při řešení bakalářské práce byla použita 3 procesní média a to: Multicut Extra 10 (řezný olej), Hocut 795B (emulze) a Accu – Lube LB – 2000 (MQL).

Emulze Hocut 795B byla smíchána s vodou, tak aby vznikl 5% roztok. Toho bylo dosaženo použitím ručního refraktometru (obr. 14). Procesní médium bylo míseno v barelu, kterým se plnilo chladicí zařízení.

Postup přípravy procesní kapaliny:

1. naplnění barelu vodou,
2. přimíchání procesního média do barelu s vodou,
3. protřepání a zamíchání barelu, aby došlo ke smísení procesního média s vodou,
4. odebrání vzorku pomocí pipety a nanesení kapiček procesní kapaliny na sklíčko refraktometru,
5. odečtení hodnoty z refraktometru,
6. když odečtená hodnota nesouhlasí s požadovanou koncentrací, tedy pokud je koncentrace příliš vysoká, máme možnost přilít vody. Je-li koncentrace příliš nízká, je možnost přilít procesního média.



Obr. 14 Ruční refraktometr

5.2 Příprava materiálu na obrábění

Při řešení bakalářské práce byly použity čtyři zkušební vzorky a to: konstrukční ocel EN - C45 (12050.1), konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), nerez EN – X5CrNi18 - 10 (17 240) a litina EN - 536-250 (unibar 250).

Všechny zkušební vzorky byly rozřezány na části se stejnými rozměry, aby je bylo možné upnout do svěráku.

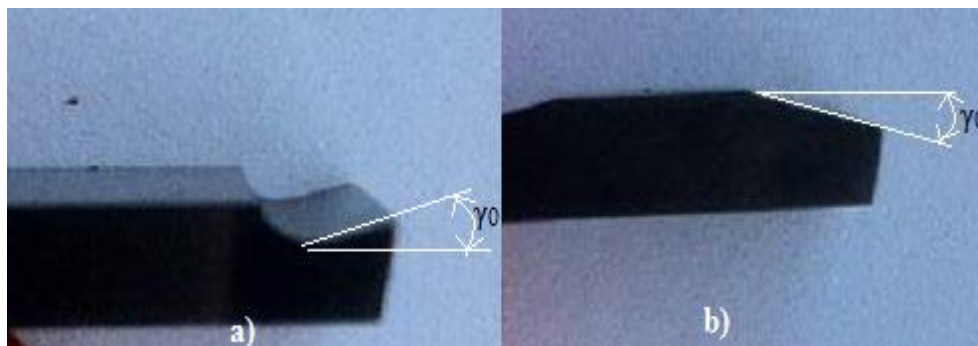
5.3 Příprava vyměnitelné břitové destičky (VBD)

Jednotlivé experimenty byly vždy prováděny novou VBD. Pro zvolené parametry, jako úhel čela γ_0 (-12° ; $+12^\circ$) a opotřebení VB (0,4 mm; 0,8 mm), bylo nutné destičku upravit tak, aby odpovídala daným parametrům. Pro dosažení úhlu čela γ_0 (-12° ; $+12^\circ$), byla použita bruska EBN 2 – 0 (obr. 15) s diamantovým brousicím kotoučem. Výsledek je možné vidět na obrázku 16.



Obr. 15 Bruska EBN 2- 0

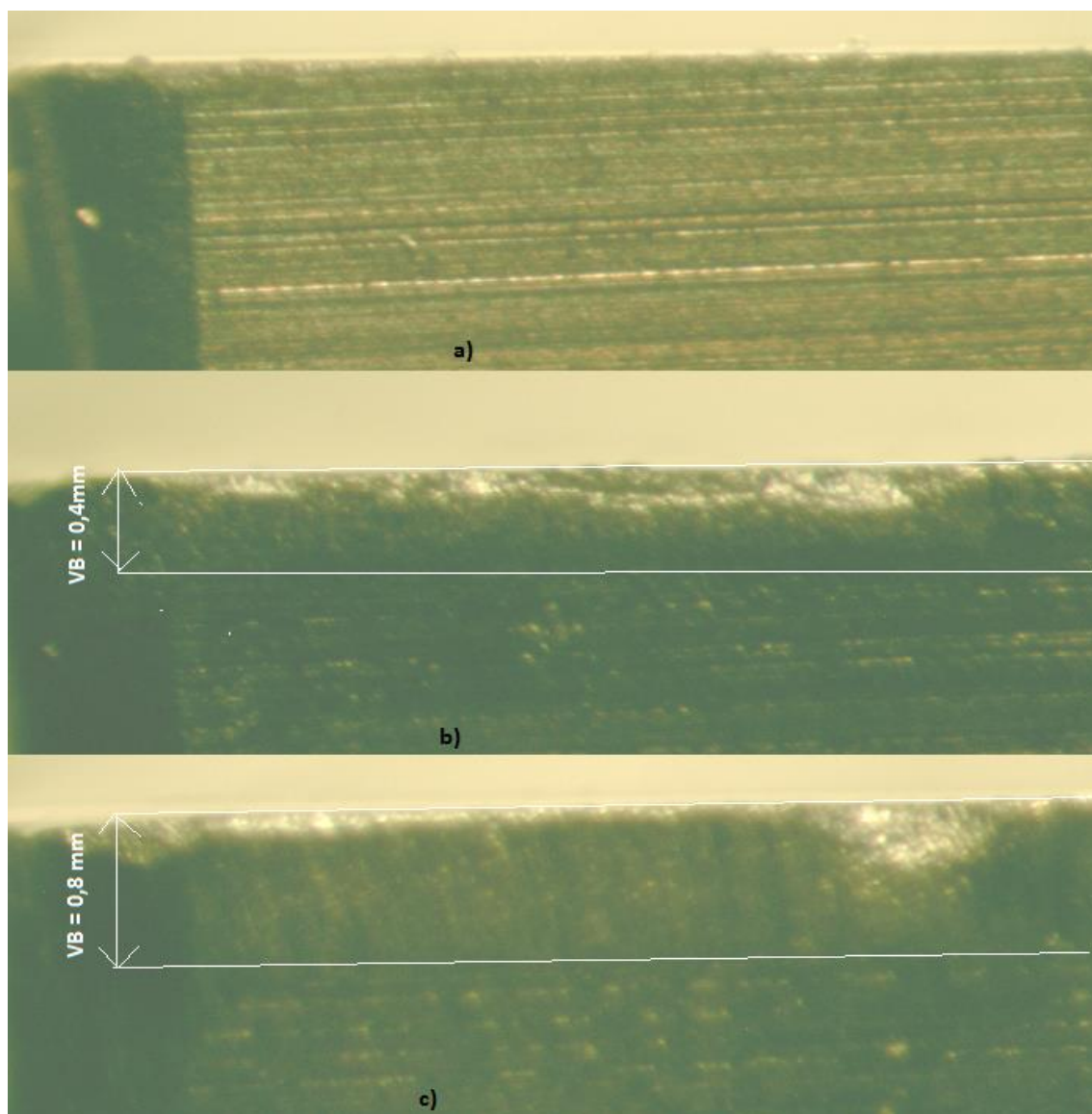
Opotřebení VB bylo dosaženo při procesu frézování. Opotřebení bylo měřeno vždy po skončení frézovacího procesu, dokud nebylo naměřeno požadované opotřebení VB. Hodnota opotřebení VB byla měřena a odečtena na dílenském mikroskopu Zeiss (obr. 17). Výsledky opotřebení je možné vidět na obrázku 18.



Obr. 16 a) pozitivní úhel γ_0 b) negativní úhel γ_0



Obr. 17 dílenský mikroskop Zeiss



Obr. 18 Opatření VB - a) VB = 0,0 mm, b) VB = 0,4 mm, c) VB = 0,8 mm

5.4 Metodika měření

Typ operace		Materiál zkušebního vzorku				
Způsob obrábění	frézování	EN - C45 (12 050.1)				
Způsob frézování	čelní	EN - 16MnCr5 (14 220.3)				
Osazení frézy	1 břit	EN - X5CrNi18 - 10 (17 240)				
Opakování ex.	5	EN - 536 - 250 (unibar 250)				
Nástroj			Stroj			
Frézovací hlava	Narex	50 2460.2	konzolová frézka svislá	FNG 32		
VBD (ISO)	SPGN	S20120304	výrobce	TOS Olomouc s.r.o.		
Parametry experimentu						
Řezná rychlost		v_c	94,0	133,5	173,0	[m.min ⁻¹]
Hloubka záběru		a_p	1,0			[mm]
Posuv		f	0,07			[mm.ot ⁻¹]
Úhel čela		γ_0	-12	0	12	[°]
VB		-	0,0	0,4	0,8	[mm]
Způsob chlazení	Procesní kapaliny	Accu - Lube - LB 250				
		Hocut 795B				
		Multicut Extra 10				
	Obrábění za sucha	-				
	Koncentrace	-	5		[%]	
	Průtočné množství	Q_v	0,27		[l.min ⁻¹]	
	Teplota kapaliny	t_1	22		[°C]	
	Chlazení	gravitačně ze zásobníku				
Měřené parametry			Měřicí přístroje			
Řezné síla	F_c	[N]	dynamometr Kistler			
Příkon stroje	P_1, P_0	[W]	třífázový analyzátor výkonu DW - 6069			
Drsnost povrchu	Ra	[μm]	drsnoměr Mitutoyo SV-2000N2 Surftest			
	Rz	[μm]				
	C _{tp50}	[μm]				

Tabulka 4 Metodika měření

5.4.1 Příprava měření

Před zahájením samotného měření je nutné provést seřízení stroje a příslušenství pro měření.

Nástroj se upne do vřetena stroje. Frézovací hlava bude osazena jednou vyměnitelnou břitovou destičkou. Jednotlivé experimenty budou vždy prováděny novou vyměnitelnou břitovou destičkou, aby byla zaručena správnost měření. Na stůl frézky se

upne pomocí čtyř šroubů dynamometr Kistler, na který se pomocí dvou šroubů upne svěrák. Do svěráku bude vždy upnut zkušební vzorek, který bude obráběn.

Po této přípravě následuje nastavení řezných podmínek, které se nastaví na displeji frézky. Řezné podmínky jsou znázorněny v tabulce 4.

5.5 Určení užitečného výkonu $P_{už}$

Náplní experimentů je určení užitečného výkonu stroje při obrábění. K tomu budou použita dvě zařízení a to: třífázový analyzátor výkonu DW - 6092 (obr. 19) a dynamometr Kistler (obr. 20). V průběhu experimentu bude měření prováděno současně na třífázovém analyzátoru výkonu DW – 6092 a dynamometru Kistler.

Při měření pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW - 6092, připojíme třífázový analyzátor k elektrické síti a propojíme s frézkou. Zapneme stroj, nastavíme řezné podmínky a spustíme proces frézování. Nejprve odečteme z displeje třífázového analyzátoru výkonu DW – 6092 pět hodnot P_0 , výkon při chodu naprázdno. Poté budeme odčítat pět hodnot příkonu stroje P_1 a to v okamžiku, kdy břit nástroje začne vnikat do obráběného materiálu. Tento proces budeme vždy 5 krát opakovat. Naměřené hodnoty budou zapsány do tabulky, kde se data zpracují. Ke zpracování dat budeme používat aritmetický průměr a statistický interval spolehlivosti, jehož výpočet je přiložen na CD.



Obr. 19 Třífázového analyzátoru výkonu DW - 6092

Při měření pomocí dynamometru Kistler bude nutná jeho kalibrace. Kalibrace bude provedena pomocí siloměru (obr. 21) a závaží. Dynamometr Kistler bude pomocí optického kabelu propojen s nábojovým zesilovačem 5019B (obr. 22). Nábojový zesilovač 5019B bude propojen s PC, který nám prostřednictvím programu LabVIEW 6.1 vyhodnotí výsledky experimentu v grafické podobě.



Obr. 20 dynamometr Kistler



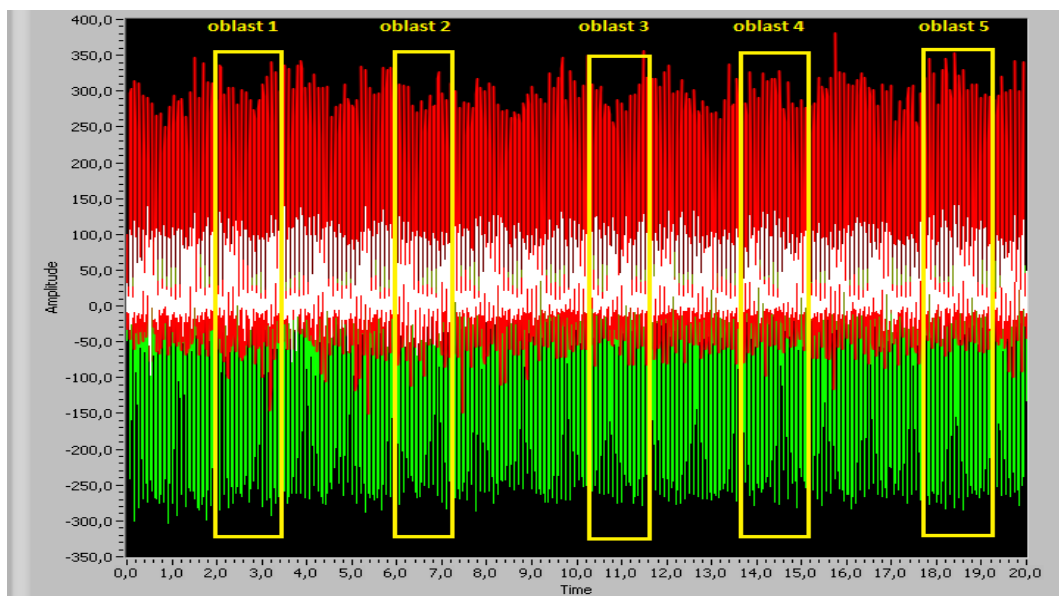
Obr. 21 Siloměr



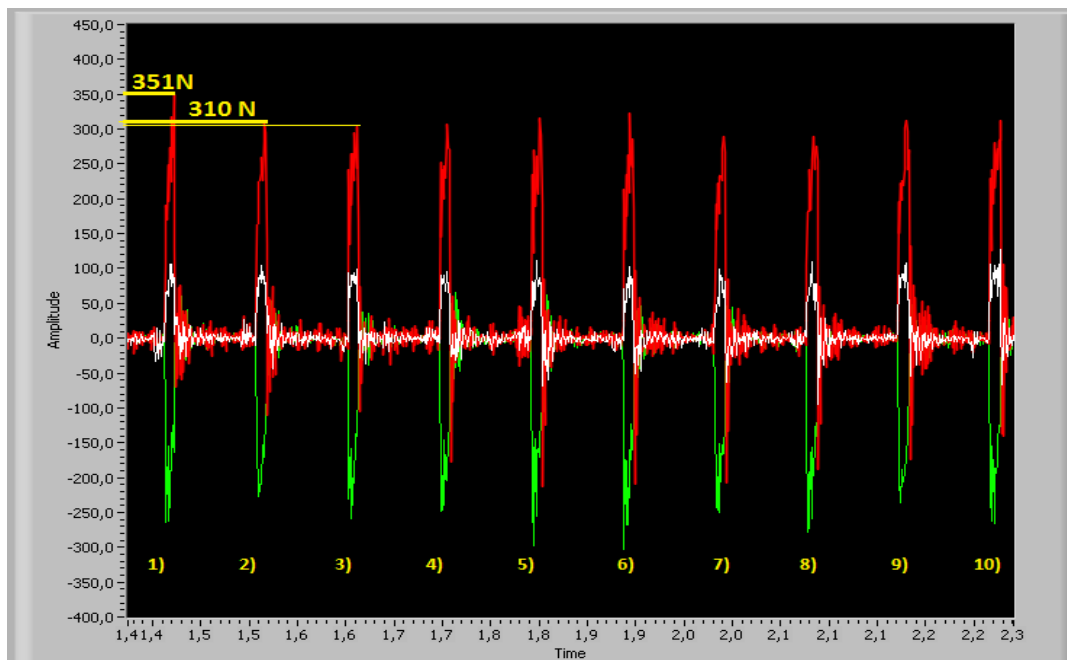
Obr. 22 Nábojový zesilovač 5019B

Pro určení užitečného výkonu $P_{už}$ bude nutné, z grafického vyhodnocení programu LabVIEW 6.1, odečíst hodnoty řezné síly F_c . Pro snadnější odečtení hodnot bylo navrženo rozdělení grafu naměřených hodnot z programu LabVIEW 6.1 (obr. 23), na pět oblastí. Těchto pět oblastí bude získáno roztažením časové osy pomocí kurzoru. Z každé takto získané oblasti bude vybráno ze střední části grafu deset piků, ze kterých odečteme hodnoty výsledné řezné síly F_c (obr. 24). Řezná síla F_c je na grafu znázorněna

červenou barvou. Nejvyšší a nejnižší hodnota z těchto 10 piků bude zanedbána, aby bylo dosaženo přesnější výsledné hodnoty řezné síly F_c . Naměřené hodnoty budou zapsány do tabulky, kde se data zpracují. Ke zpracování dat bude použit aritmetický průměr, a statistický interval spolehlivosti, jehož výpočet je přiložen na CD. Užitečný výkon bude získán z výsledné řezné síly F_c pomocí vztahu $P_{už} = F_c * v_c$ [W].



Obr. 23 Vyhodnocení výsledků programu LabVIEW 6.1

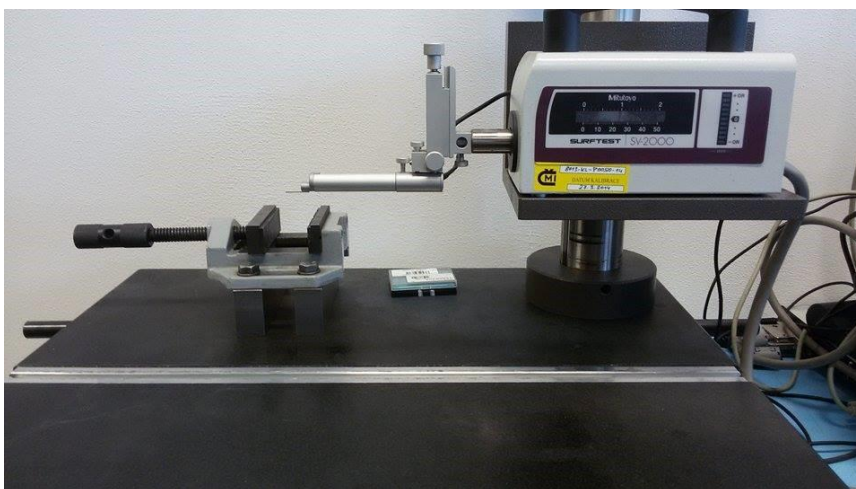


Obr. 24 Oblast 1 odečtení řezné síly F_c v programu LabVIEW 6.1

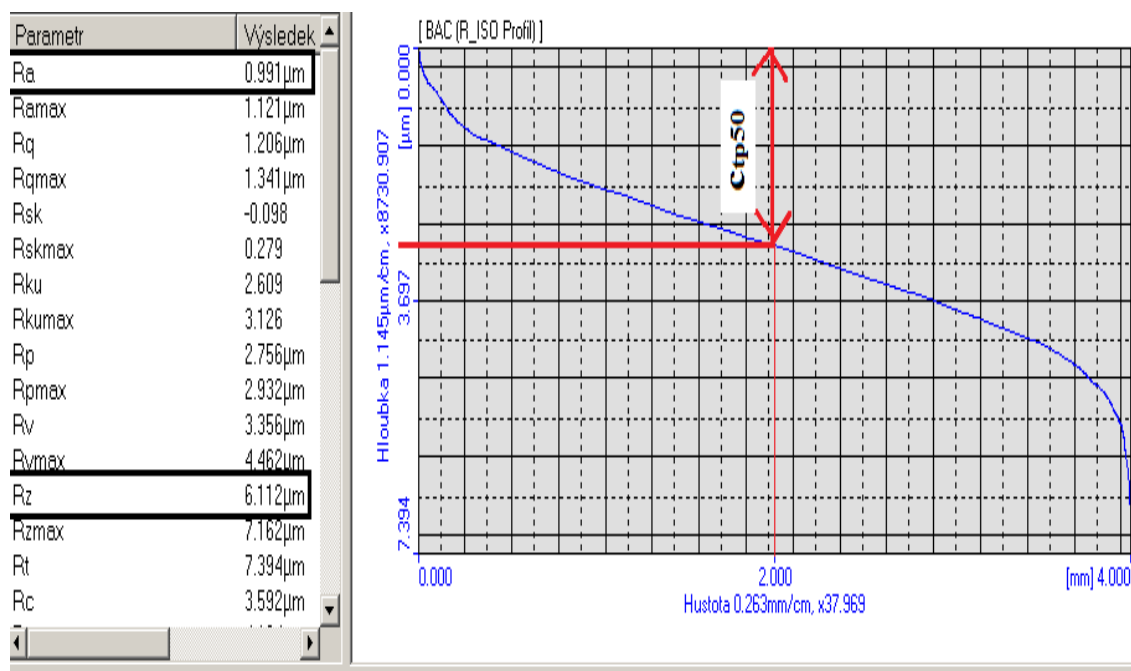
5.6 Určení drsnosti R_a , R_z a materiálového poměru profilu c_{pt50}

Pro určení drsnosti povrchu po procesu frézování bude použit drsnoměr Mitutoyo SV-2000N2 Surftest (obr. 25). Drsnost bude měřena na povrchu obrobce

materiálu a to tak, že zkušební vzorek bude umístěn do držáku. Pomocí otočné kličky bude nastavena poloha diamantového hrotu drsnoměru Mitutoyo SV-2000N2 Surftest tak, aby byl v kontaktu s obrobenou plochou. Diamantový hrot slouží ke snímání drsnosti povrchu obrobeného materiálu. Naměřená drsnost bude zobrazena pomocí programu SURFPAK – SV – 1.100. Drsnost R_a a R_z bude vyhodnocena programem SURFPAK – SV – 1.100 (obr. 26). Pro určení materiálového profilu c_{tp50} bude nutné odečíst hodnotu z grafu (obr. 26). Naměřené hodnoty budou zapsány do tabulky, kde se data zpracují. Ke zpracování dat bude použit aritmetický průměr a statistický interval spolehlivosti, jehož výpočet je přiložen na CD.



Obr. 25 Mitutoyo SV-2000N2 Surftest



Obr. 26 Program SURFPAK – SV – 1.100 odečtení hodnoty c_{tp50} , R_a a R_z

6 Realizace experimentů

6.1 Realizace experimentů při vybraných technologických parametrech na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování

V rámci realizace experimentu byla práce rozdělena do pěti částí. U každého experimentu jsou v záhlaví tabulky uvedeny řezné podmínky podle tabulky 4. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách (tab. 5 – tab. 38). V jednotlivých tabulkách je vždy zaznamenán užitečný výkon $P_{už}$ a drsnost povrchu materiálu po procesu frézování R_a , R_z a c_{tp50} .

6.1.1 Experiment 1

Byly použity řezné podmínky podle tabulky 4. Proměnný parametr u experimentu 1 byl materiál a to: konstrukční ocel EN - C45 (12050.1), konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), antikorozi ocel EN – X5CrNi18 - 10 (17 240) a litina EN - 536-250 (unibar 250). Výsledky experimentů jsou zaznamenány níže (tab. 5 – tab. 12)

Zkušební vzorek 1 - konstrukční ocel EN - C45 (12 051.1)

Závislost $P_{už}$ na obráběném materiálu												
materiál EN - C45 (12 051.1)												
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, $\gamma_o = 0^\circ$, za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.min}^{-1}$, $VB = 0 \text{ mm}$												
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0												
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P_0	aritm. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]		
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			358 ±4		
1	P_1 [kW]	1,236	1,248	1,250	1,267	1,255					1,251	0,358
2		1,264	1,252	1,254	1,252	1,256					1,256	0,363
3		1,243	1,245	1,249	1,250	1,252					1,248	0,355
4		1,243	1,247	1,253	1,256	1,263					1,252	0,359
5		1,242	1,244	1,247	1,254	1,259					1,249	0,356
dynamometr Kistler												
v_c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F_c	Statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	
133,5 [m/min]	úsek										491 ±35	
	1	223,6	229,4	228,4	216,4	215,6	215,8	225,6	221,4	222,0		
	2	225,2	222,2	219,8	225,0	232,6	231,6	229,6	223,8	226,2		
	3	237,2	234,6	232,0	236,6	244,0	232,8	241,0	229,8	236,0		
	4	224,0	209,4	199,4	212,0	222,4	218,8	204,4	212,0	212,8		
	5	212,6	204,4	215,0	208,0	203,6	199,8	205,2	206,2	206,9		

Tabulka 5 Závislost $P_{už}$ na konstrukční oceli EN - C45 (12 051.1)

Drsnost materiálu							
materiál EN - C45 (12 051.1)							
ap = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γo = 0°, za sucha, vc = 133,5 m.min ⁻¹ , VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,991	1,060	0,906	0,957	1,050	0,993	1,055 ±0,180
oblast 2	0,958	0,948	0,902	0,877	0,887	0,914	
oblast 3	0,977	0,987	1,011	0,967	0,965	0,981	
oblast 4	1,230	1,190	1,185	1,146	1,194	1,189	
oblast 5	1,177	1,456	1,261	0,938	1,157	1,198	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	6,112	6,464	5,704	5,362	5,867	5,902	6,004 ±0,602
oblast 2	5,697	5,842	5,386	5,034	5,598	5,511	
oblast 3	5,515	5,652	5,841	6,404	5,254	5,706	
oblast 4	6,749	6,712	6,695	6,368	6,112	6,527	
oblast 5	6,379	8,564	7,077	5,680	4,172	6,374	
Materiálový poměr profilu Cpt50 [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,862	3,511	3,493	2,928	3,274	3,214	3,614 ±1,081
oblast 2	2,745	2,730	4,459	2,186	2,876	2,999	
oblast 3	2,771	2,570	2,788	7,020	2,797	3,589	
oblast 4	2,790	4,194	3,454	2,845	3,284	3,313	
oblast 5	3,049	5,037	3,516	2,594	10,578	4,955	

Tabulka 6 Závislost drsnosti povrchu na konstrukční oceli EN - C45 (12 051.1)

Zkušební vzorek 2 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3)

Závislost $P_{už}$ na obráběném materiálu															
materiál EN -16MnCr5 (14220.3)															
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, $\gamma_o = 0^\circ$, za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.min}^{-1}$, $VB = 0 \text{ mm}$															
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0															
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P_0	aritm. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]					
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893	1,331	0,438	460 ±23					
1	P_1 [kW]	1,300	1,318	1,332	1,349	1,358						1,372	0,479		
2		1,378	1,377	1,369	1,370	1,366									
3		1,327	1,340	1,353	1,365	1,367								1,367	0,474
4		1,372	1,370	1,366	1,369	1,358									
5		1,315	1,326	1,349	1,368	1,354									
dynamometr Kistler															
v_c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F_c	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]				
133,5 [m/min]	úsek										683 ±47				
	1	295,8	312,8	301,8	323,8	300,4	298,8	297,8	314,4	305,7					
	2	318,0	319,4	306,4	325,8	318,4	324,6	310,8	319,4	317,9					
	3	308,0	313,8	306,4	307,2	306,4	287,8	311,2	300,0	305,1					
	4	325,6	324,2	324,0	330,0	316,6	325,0	319,6	327,4	324,1					
	5	282,2	280,0	281,0	281,8	298,4	271,8	278,4	298,4	284,0					

 Tabulka 7 Závislost $P_{už}$ na konstrukční oceli EN -16MnCr5 (14220.3)

Drsnost materiálu							
materiál EN -16MnCr5 (14 220.3)							
ap = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γo = 0°, za sucha, vc = 133,5 m.min ⁻¹ , VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,360	1,324	1,693	1,992	1,840	1,642	1,382 ±0,305
oblast 2	1,846	0,877	0,894	1,290	1,087	1,199	
oblast 3	2,015	0,814	1,302	2,396	1,144	1,534	
oblast 4	1,615	0,638	1,919	1,437	1,451	1,412	
oblast 5	0,895	0,548	1,436	1,132	1,595	1,121	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	10,845	11,094	12,988	14,314	14,511	12,750	11,438 ±1,705
oblast 2	15,071	7,418	7,151	12,351	10,867	10,572	
oblast 3	16,351	7,046	11,634	18,703	8,955	12,538	
oblast 4	12,546	5,656	13,508	13,379	12,028	11,423	
oblast 5	8,494	5,068	10,966	9,841	15,158	9,905	
materiálový poměr profilu Cpt50 [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	18,343	11,048	20,426	19,688	16,752	17,251	18,090 ±2,936
oblast 2	15,282	30,340	8,143	15,719	24,260	18,749	
oblast 3	23,744	6,655	16,152	21,120	12,694	16,073	
oblast 4	17,964	5,826	16,458	17,611	13,325	14,237	
oblast 5	8,493	4,552	17,467	14,171	23,420	13,621	

Tabulka 8 Závislost drsnosti povrchu na konstrukční oceli EN -16MnCr5 (14220.3)

Zkušební vzorek 3 - litina EN – 536 - 250 (unibar 250)

Závislost P _{už} na obráběném materiálu															
litina EN – 536 - 250 (unibar 250)															
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, v _c = 133,5 m.s ⁻¹ , VB = 0 mm															
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0															
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]					
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893	1,226	0,333	357 ±78					
1	P ₁ [kW]	1,214	1,222	1,228	1,231	1,233						1,212	0,319		
2		1,255	1,231	1,228	1,230	1,231								1,228	0,335
3		1,202	1,207	1,212	1,218	1,220									
4		1,231	1,226	1,227	1,228	1,230									
5		1,334	1,347	1,351	1,356	1,362									
dynamometr Kistler															
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]				
133,5 [m/min]	úsek										457 ±39				
	1	208,4	206,0	202,4	206,6	219,2	213,6	209,0	204,8	208,8					
	2	214,6	218,0	218,2	210,8	203,0	218,4	224,6	203,6	213,9					
	3	188,4	188,8	203,2	188,8	185,4	180,0	201,2	191,2	190,9					
	4	225,6	208,0	230,6	222,2	209,4	225,0	214,2	225,2	220,0					
	5	198,6	194,6	197,6	193,8	186,8	194,4	190,8	190,2	193,4					

 Tabulka 9 Závislost $P_{už}$ na litině EN – 536 - 250 (unibar 250)

Drsnost materiálu							
materiál litina EN – 536 - 250 (unibar 250)							
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, $\gamma_o = 0^\circ$, za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.min}^{-1}$, $VB = 0 \text{ mm}$							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,384	1,241	1,194	0,963	1,263	1,209	1,488 $\pm 0,324$
oblast 2	1,228	1,140	1,451	1,741	1,199	1,352	
oblast 3	1,794	2,351	1,340	1,136	1,274	1,579	
oblast 4	1,440	1,372	1,744	1,328	1,504	1,478	
oblast 5	1,752	2,906	1,796	1,537	1,127	1,824	
Největší výška profilu R_z [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	9,529	8,654	8,194	6,210	7,569	8,031	10,796 $\pm 2,763$
oblast 2	10,033	7,605	11,858	15,400	8,548	10,689	
oblast 3	15,807	15,217	8,645	7,938	8,569	11,235	
oblast 4	9,495	9,087	11,653	11,345	10,559	10,428	
oblast 5	14,927	22,635	13,342	10,230	6,862	13,599	
Materiálový poměr profilu C_{pt50} [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	5,124	3,810	5,368	4,478	3,515	4,459	9,517 $\pm 6,063$
oblast 2	8,688	5,745	13,242	15,513	9,320	10,502	
oblast 3	18,430	22,709	5,096	5,482	6,993	11,742	
oblast 4	4,171	3,922	11,381	14,759	16,378	10,122	
oblast 5	22,729	25,537	13,051	10,760	11,381	16,692	

Tabulka 10 Závislost drsnosti povrchu na litině EN – 536 - 250

Zkušební vzorek 4 – antikorozi ocel EN – X5CrNi18 - 10 (17 240)

Závislost P _{už} na obráběném materiálu																	
materiál antikorozní ocel EN – X5CrNi18 - 10 (17 240)																	
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, v _c = 133,5 m.min ⁻¹ , VB = 0 mm																	
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0																	
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti							
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893	1,358	0,465	463 ±3							
1	P ₁ [kW]	1,347	1,352	1,359	1,364	1,367						1,352	0,459				
2		1,346	1,349	1,353	1,354	1,359											
3		1,354	1,358	1,354	1,356	1,354								1,355	0,462		
4		1,353	1,357	1,356	1,361	1,363										1,358	0,465
5		1,349	1,352	1,355	1,362	1,364											
dynamometr Kistler																	
vc	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti						
133,5 [m/min]	úsek										741 ±139						
	1	282,6	276,8	300,8	300,2	290,2	284,6	299,6	293,6	291,1							
	2	333,2	339,4	334,8	337,6	349,2	340,6	336,0	346,0	339,6							
	3	333,2	339,4	334,8	337,0	244,0	232,8	241,0	229,8	286,5							
	4	353,6	358,2	352,6	353,2	351,0	353,6	357,0	352,8	354,0							
	5	397,2	383,8	397,4	399,4	393,0	393,8	387,0	400,0	394,0							

 Tabulka 11 Závislost $P_{už}$ na materiálu antikorozi ocel EN – X5CrNi18 - 10 (17 240)

Drsnost materiálu							
materiál antikorozní ocel EN – X5CrNi18 - 10 (17 240)							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, v _c = 133,5 m.min ⁻¹ , VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,558	0,376	0,433	0,410	0,535	0,462	0,595 ±0,381
oblast 2	0,480	0,464	0,406	0,392	0,480	0,444	
oblast 3	0,500	0,472	0,435	0,328	0,318	0,434	
oblast 4	0,665	0,513	0,518	0,561	0,518	0,555	
oblast 5	1,030	1,399	0,918	1,157	0,888	1,078	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	3,349	2,625	2,791	2,546	3,685	2,999	3,858 ±2,645
oblast 2	3,043	2,859	2,741	2,586	3,171	2,880	
oblast 3	2,851	3,804	2,546	2,554	2,113	2,774	
oblast 4	3,895	3,073	3,267	3,652	3,099	3,397	
oblast 5	7,336	10,255	4,974	8,649	4,988	7,240	
Materiálový poměr profilu cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,370	1,487	1,537	1,494	2,255	1,829	3,706 ±4,874
oblast 2	1,956	1,901	1,322	1,459	2,444	1,816	
oblast 3	1,664	3,904	1,957	3,524	1,848	2,579	
oblast 4	2,572	2,181	2,313	2,500	2,171	2,347	
oblast 5	7,424	18,595	6,160	13,204	4,410	9,959	

Tabulka 12 Závislost drsnosti povrchu na antikorozi oceli EN – 536 – 250 (17 240)

6.1.2 Experiment 2

Byly zvoleny řezné podmínky podle tabulky 4. Proměnný parametr u experimentu 2, byla řezná rychlost a to: rychlost 1) $94 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, rychlost 2) $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, rychlost 3 – $174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Výsledky experimentů jsou zaznamenány níže (tab. 13 – tab. 18).

Zkušební vzorek 5 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 94 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Závislost P _{už} na řezné rychlosti v _c															
rychlost 94 m * min ⁻¹															
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm															
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0															
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]					
úsek	P ₀ [kW]	0,871	0,870	0,867	0,867	0,870	0,869	1,197	0,328	344 ±21					
1	P ₁ [kW]	1,185	1,193	1,198	1,203	1,205						1,233	0,364		
2		1,220	1,217	1,219	1,290	1,221									
3		1,190	1,200	1,204	1,208	1,214								1,223	0,354
4		1,221	1,224	1,221	1,223	1,224									
5		1,201	1,207	1,212	1,214	1,218									
dynamometr Kistler															
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]				
94 [m/min]	úsek										477 ±18				
	1	310,2	311,6	314,2	317,8	322,4	325,2	319,0	327,2	318,5					
	2	284,8	303,8	321,8	302,6	310,0	302,0	313,8	309,2	306,0					
	3	292,0	301,6	306,2	304,0	293,8	300,2	297,6	297,2	299,1					
	4	293,6	302,0	302,6	303,0	297,8	306,8	291,8	284,8	297,8					
	5	296,0	304,2	306,8	313,6	314,6	310,0	316,4	309,0	308,8					

Tabulka 13 Závislost $P_{už}$ na řezné rychlosti v_c - $94 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Drsnost materiálu							
rychlost 94 m * min ⁻¹							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,438	0,441	0,380	0,533	0,533	0,465	0,692 ±0,281
oblast 2	0,534	0,525	0,522	0,629	0,632	0,568	
oblast 3	0,621	0,634	0,542	0,746	0,807	0,670	
oblast 4	0,705	0,981	1,183	0,880	1,222	0,994	
oblast 5	1,072	0,747	0,474	0,772	0,748	0,763	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,707	3,114	2,643	3,096	4,574	3,227	5,454 ±2,514
oblast 2	4,067	4,897	5,035	4,184	4,936	4,624	
oblast 3	3,843	5,624	3,356	5,810	6,599	5,046	
oblast 4	4,884	8,887	9,868	7,107	9,220	7,993	
oblast 5	9,210	7,164	3,591	6,037	5,887	6,378	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,109	7,682	2,339	2,958	6,237	4,265	8,275 ±5,537
oblast 2	6,172	9,838	7,225	4,122	5,530	6,577	
oblast 3	2,952	11,328	2,073	9,657	3,131	5,828	
oblast 4	4,653	13,875	23,198	11,040	17,240	14,001	
oblast 5	17,412	10,887	3,130	10,668	11,421	10,704	

Tabulka 14 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti v_c – 94 m * min⁻¹

Zkušební vzorek 6 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Závislost P _{už} na řezné rychlosti v _c											
rychlost 133,5 m * min ⁻¹											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			460 ±23	
1	P ₁ [kW]	1,300	1,318	1,332	1,349	1,358		1,331	0,438		
2		1,378	1,377	1,369	1,370	1,366		1,372	0,479		
3		1,327	1,340	1,353	1,365	1,367		1,350	0,457		
4		1,372	1,370	1,366	1,369	1,358		1,367	0,474		
5		1,315	1,326	1,349	1,368	1,354		1,342	0,449		
dynamometr Kistler											
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]
133,5 [m/min]	úsek										683 ±47
	1	295,8	312,8	301,8	323,8	300,4	298,8	297,8	314,4	305,7	
	2	318,0	319,4	306,4	325,8	318,4	324,6	310,8	319,4	317,9	
	3	308,0	313,8	306,4	307,2	306,4	287,8	311,2	300,0	305,1	
	4	325,6	324,2	324,0	330,0	316,6	325,0	319,6	327,4	324,1	
	5	282,2	280,0	281,0	281,8	298,4	271,8	278,4	298,4	284,0	

Tabulka 15 Závislost $P_{už}$ na řezné rychlosti $v_c - 133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Drsnost materiálu							
rychlost 133,5 m.min ⁻¹							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,360	1,324	1,693	1,992	1,840	1,642	1,382 ±0,305
oblast 2	1,846	0,877	0,894	1,290	1,087	1,199	
oblast 3	2,015	0,814	1,302	2,396	1,144	1,534	
oblast 4	1,615	0,638	1,919	1,437	1,451	1,412	
oblast 5	0,895	0,548	1,436	1,132	1,595	1,121	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	10,845	11,094	12,988	14,314	14,511	12,750	11,438 ±1,705
oblast 2	15,071	7,418	7,151	12,351	10,867	10,572	
oblast 3	16,351	7,046	11,634	18,703	8,955	12,538	
oblast 4	12,546	5,656	13,508	13,379	12,028	11,423	
oblast 5	8,494	5,068	10,966	9,841	15,158	9,905	
materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	18,343	11,048	20,426	19,688	16,752	17,251	18,090 ±2,936
oblast 2	15,282	30,340	8,143	15,719	24,260	18,749	
oblast 3	23,744	6,655	16,152	21,120	12,694	16,073	
oblast 4	17,964	5,826	16,458	17,611	13,325	14,237	
oblast 5	8,493	4,552	17,467	14,171	23,420	13,621	

Tabulka 16 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti v_c – 133,5 m * min⁻¹

Zkušební vzorek 7 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Závislost P _{už} na řezné rychlosti v _c											
rychlost 174 m * min ⁻¹											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0mm											
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,904	0,909	0,908	0,910	0,909	0,908			423 ±12	
1	P ₁ [kW]	1,348	1,315	1,329	1,334	1,343		1,334	0,426		
2		1,349	1,328	1,344	1,339	1,341		1,340	0,432		
3		1,299	1,314	1,324	1,340	1,347		1,325	0,417		
4		1,341	1,334	1,333	1,331	1,342		1,336	0,428		
5		1,296	1,314	1,328	1,330	1,332		1,320	0,412		
dynamometr Kistler											
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]
174 [m/min]	úsek										806 ±39
	1	283,6	288,0	272,2	284,6	295,4	284,8	270,2	270,8	281,2	
	2	289,4	298,8	284,8	288,2	294,0	291,6	284,4	306,0	292,2	
	3	254,8	272,4	278,0	272,6	272,6	262,6	262,4	266,6	267,8	
	4	274,8	270,8	277,8	277,4	284,6	288,8	279,8	283,2	279,7	
	5	260,4	277,4	278,2	274,8	274,2	265,8	261,4	265,2	269,7	

Tabulka 17 Závislost $P_{už}$ na řezné rychlosti $v_c - 174,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Drsnost materiálu							
rychlost 174 m * min ⁻¹							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, γ _o = 0°, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,719	0,709	0,684	0,615	0,622	0,670	0,589 ±0,117
oblast 2	0,584	0,605	0,660	0,623	0,645	0,623	
oblast 3	0,683	0,666	0,631	0,660	0,641	0,656	
oblast 4	0,516	0,515	0,507	0,468	0,497	0,501	
oblast 5	0,447	0,420	0,535	0,505	0,574	0,496	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	4,155	4,146	3,783	3,460	3,336	3,776	3,588 ±0,385
oblast 2	3,138	3,688	3,772	3,271	3,593	3,492	
oblast 3	4,756	3,743	3,593	3,945	3,710	3,949	
oblast 4	3,100	3,114	3,675	2,698	3,618	3,241	
oblast 5	3,618	2,745	3,591	3,535	3,909	3,480	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,021	2,098	2,043	1,812	1,834	1,962	2,332 ±0,645
oblast 2	1,839	1,675	2,192	1,600	1,834	1,828	
oblast 3	4,811	1,685	1,428	1,890	1,632	2,289	
oblast 4	1,498	1,540	4,492	1,548	4,090	2,634	
oblast 5	4,135	1,496	2,000	2,839	4,267	2,947	

Tabulka 18 Závislost drsnosti povrchu na řezné rychlosti v_c – 174 m * min⁻¹

6.1.3 Experiment 3

Byly zvoleny řezné podmínky podle tabulky 4. Proměnný parametr u experimentu 3, byl úhel čela γ_0 a to: 1) $\gamma_0 = 0$, 2) $\gamma_0 = 12^\circ$, 3) $\gamma_0 = -12^\circ$. Výsledky experimentů jsou zaznamenány níže (tab. 19 – tab. 24).

Zkušební vzorek 8- konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), $\gamma_0 = 0$

Závislost $P_{už}$ na řezné rychlosti v_c											
úhel čela $\gamma_o = 0^\circ$											
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 133,5 \text{ m} * \text{min}^{-1}$, $VB = 0 \text{ mm}$											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P_0	aritm. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893				460 ±23
1	P_1 [kW]	1,300	1,318	1,332	1,349	1,358		1,331	0,438		
2		1,378	1,377	1,369	1,370	1,366		1,372	0,479		
3		1,327	1,340	1,353	1,365	1,367		1,350	0,457		
4		1,372	1,370	1,366	1,369	1,358		1,367	0,474		
5		1,315	1,326	1,349	1,368	1,354		1,342	0,449		
dynamometr Kistler											
v_c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F_c	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]
133,5 [m/min]	úsek										683 ±47
	1	295,8	312,8	301,8	323,8	300,4	298,8	297,8	314,4	305,7	
	2	318,0	319,4	306,4	325,8	318,4	324,6	310,8	319,4	317,9	
	3	308,0	313,8	306,4	307,2	306,4	287,8	311,2	300,0	305,1	
	4	325,6	324,2	324,0	330,0	316,6	325,0	319,6	327,4	324,1	
	5	282,2	280,0	281,0	281,8	298,4	271,8	278,4	298,4	284,0	

Tabulka 19 Závislost $P_{už}$ na úhlu čela $\gamma_0 = 0$

Drsnost materiálu							
úhel čela $\gamma_0 = 0^\circ$							
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.min}^{-1}$, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,360	1,324	1,693	1,992	1,840	1,642	1,382 ±0,305
oblast 2	1,846	0,877	0,894	1,290	1,087	1,199	
oblast 3	2,015	0,814	1,302	2,396	1,144	1,534	
oblast 4	1,615	0,638	1,919	1,437	1,451	1,412	
oblast 5	0,895	0,548	1,436	1,132	1,595	1,121	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	10,845	11,094	12,988	14,314	14,511	12,750	11,438 ±1,705
oblast 2	15,071	7,418	7,151	12,351	10,867	10,572	
oblast 3	16,351	7,046	11,634	18,703	8,955	12,538	
oblast 4	12,546	5,656	13,508	13,379	12,028	11,423	
oblast 5	8,494	5,068	10,966	9,841	15,158	9,905	
materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	18,343	11,048	20,426	19,688	16,752	17,251	18,090 ±2,936
oblast 2	15,282	30,340	8,143	15,719	24,260	18,749	
oblast 3	23,744	6,655	16,152	21,120	12,694	16,073	
oblast 4	17,964	5,826	16,458	17,611	13,325	14,237	
oblast 5	8,493	4,552	17,467	14,171	23,420	13,621	

Tabulka 20 Závislost drsnosti povrchu na úhlu čela $\gamma_0 = 0^\circ$

Zkušební vzorek 9 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), $\gamma_0 = 12^\circ$

Závislost $P_{už}$ na úhlu čela γ_o											
$\gamma_o = 12^\circ$											
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, ocel EN -16MnCr5 (14220.3), za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.s}^{-1}$, $VB = 0\text{mm}$											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P_0	aritm. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			359 ±27	
1	P_1 [kW]	1,209	1,215	1,228	1,238	1,248		1,228	0,335		
2		1,266	1,258	1,267	1,265	1,268		1,265	0,372		
3		1,225	1,238	1,242	1,251	1,257		1,243	0,350		
4		1,275	1,283	1,271	1,276	1,279		1,277	0,384		
5		1,227	1,241	1,243	1,256	1,262		1,246	0,353		
dynamometr Kistler											
v_c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F_c	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]
133,5 [m/min]	úsek										571 ±23
	1	251,8	252,6	252,6	253,6	242,0	257,7	250,6	255,8	252,1	
	2	257,2	245,2	236,2	240,4	250,8	246,6	257,2	257,8	248,9	
	3	251,0	254,6	255,6	254,2	264,0	253,6	262,8	253,0	256,1	
	4	260,2	265,2	252,8	265,4	253,4	260,4	264,0	257,0	259,8	
	5	270,2	259,8	280,4	265,6	268,0	268,0	265,0	266,4	267,9	

Tabulka 21 Závislost $P_{už}$ na úhlu čela $\gamma_0 = 12^\circ$

Drsnost materiálu							
úhel čela $\gamma_o = 12^\circ$							
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.min}^{-1}$, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,116	0,702	0,941	0,808	1,051	0,924	0,652 $\pm 0,219$
oblast 2	0,636	0,595	0,540	0,406	0,535	0,542	
oblast 3	0,613	0,573	0,583	0,476	0,454	0,540	
oblast 4	0,691	0,593	0,670	0,606	0,586	0,629	
oblast 5	0,660	0,665	0,707	0,533	0,550	0,623	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	8,526	4,863	7,399	7,605	8,502	7,379	4,506 $\pm 2,281$
oblast 2	4,356	4,275	3,716	2,312	3,655	3,663	
oblast 3	3,825	3,506	3,623	2,936	2,802	3,338	
oblast 4	4,804	3,551	4,186	3,737	5,239	4,303	
oblast 5	3,952	4,442	4,115	3,040	3,695	3,849	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	12,050	5,638	11,308	8,622	12,054	9,934	4,377 $\pm 4,424$
oblast 2	4,132	4,590	2,639	1,102	2,058	2,904	
oblast 3	1,947	2,131	2,112	1,320	1,863	1,875	
oblast 4	7,231	1,772	1,569	7,004	1,167	3,749	
oblast 5	2,180	5,337	2,286	1,930	5,386	3,424	

Tabulka 22 Závislost drsnosti povrchu na úhlu čela $\gamma_o = 12^\circ$

Zkušební vzorek 10 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), $\gamma_0 = -12^\circ$

Závislost $P_{už}$ na úhlu čela γ_0																	
$\gamma_0 = - 12^\circ$																	
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, ocel EN -16MnCr5 (14220.3), za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.s}^{-1}$, $VB = 0 \text{ mm}$																	
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0																	
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P_0	aritm. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]							
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893	1,308	0,415	441 ±28							
1	P_1 [kW]	1,271	1,296	1,308	1,336	1,328						1,352	0,459				
2		1,352	1,353	1,355	1,356	1,345											
3		1,306	1,322	1,337	1,344	1,338								1,329	0,436		
4		1,358	1,356	1,357	1,355	1,353										1,356	0,463
5		1,312	1,318	1,324	1,334	1,335											
dynamometr Kistler																	
v_c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F_c	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]						
133,5 [m/min]	úsek										858 ±94						
	1	333,8	336,8	337,6	327,4	338,2	331,8	334,2	334,0	334,2							
	2	399,0	420,0	395,2	391,4	387,4	410,0	390,6	382,4	397,0							
	3	393,0	408,8	392,6	388,4	392,8	388,0	399,6	404,4	396,0							
	4	412,8	414,8	427,4	408,0	416,0	417,8	403,2	416,4	414,6							
	5	388,4	400,4	384,0	391,0	392,0	373,0	366,4	395,0	386,3							

Tabulka 23 Závislost $P_{už}$ na úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$

Drsnost materiálu							
úhel čela $\gamma_0 = - 12^\circ$							
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, za sucha, $v_c = 133,5 \text{ m.min}^{-1}$, EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,536	1,418	1,337	0,963	1,102	1,271	1,407 $\pm 0,108$
oblast 2	1,548	1,526	1,521	1,225	1,343	1,433	
oblast 3	1,565	1,518	1,542	1,427	1,255	1,461	
oblast 4	1,474	1,530	1,491	1,374	1,383	1,450	
oblast 5	1,450	1,562	1,436	1,328	1,323	1,420	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	7,099	6,547	7,381	5,402	6,348	6,555	6,999 $\pm 0,505$
oblast 2	6,605	6,956	7,041	6,638	6,443	6,737	
oblast 3	7,000	6,895	7,550	6,804	6,947	7,039	
oblast 4	6,686	7,704	7,769	7,386	6,383	7,186	
oblast 5	6,513	8,563	7,303	7,948	7,056	7,477	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	4,290	4,185	6,836	4,643	5,836	5,158	4,518 1,636
oblast 2	4,230	4,654	4,200	4,612	4,206	4,380	
oblast 3	4,448	3,974	4,351	3,987	4,728	4,298	
oblast 4	3,705	4,637	6,052	4,927	3,748	4,614	
oblast 5	3,371	4,092	12,400	11,756	4,074	7,139	

Tabulka 24 Závislost drsnosti povrchu na úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$

6.1.4 Experiment 4

Byly zvoleny řezné podmínky podle tabulky 4. Proměnný parametr u experimentu 4, bylo opotřebení břitů VB a to: 1) VB = 0 mm, 2) VB = 0,4 mm, 3) VB = 0,8 mm. Výsledky experimentů jsou zaznamenány níže (tab. 25 – tab. 30).

Zkušební vzorek 11 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0 mm

Závislost P _{už} na opotřebení břitu VB											
Opotřebení břitu VB = 0 mm											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0°											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			460 ±23	
1	P ₁ [kW]	1,300	1,318	1,332	1,349	1,358		1,331	0,438		
2		1,378	1,377	1,369	1,370	1,366		1,372	0,479		
3		1,327	1,340	1,353	1,365	1,367		1,350	0,457		
4		1,372	1,370	1,366	1,369	1,358		1,367	0,474		
5		1,315	1,326	1,349	1,368	1,354		1,342	0,449		
dynamometr Kistler											
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]
133,5 [m/min]	úsek										683 ±47
	1	295,8	312,8	301,8	323,8	300,4	298,8	297,8	314,4	305,7	
	2	318,0	319,4	306,4	325,8	318,4	324,6	310,8	319,4	317,9	
	3	308,0	313,8	306,4	307,2	306,4	287,8	311,2	300,0	305,1	
	4	325,6	324,2	324,0	330,0	316,6	325,0	319,6	327,4	324,1	
	5	282,2	280,0	281,0	281,8	298,4	271,8	278,4	298,4	284,0	

Tabulka 25 Závislost $P_{už}$ na opotřebení břitů VB = 0 mm

Drsnost materiálu							
Opotřebení břitu VB = 0 mm							
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $\gamma_o = 0^\circ$							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,360	1,324	1,693	1,992	1,840	1,642	1,382 ±0,305
oblast 2	1,846	0,877	0,894	1,290	1,087	1,199	
oblast 3	2,015	0,814	1,302	2,396	1,144	1,534	
oblast 4	1,615	0,638	1,919	1,437	1,451	1,412	
oblast 5	0,895	0,548	1,436	1,132	1,595	1,121	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	10,845	11,094	12,988	14,314	14,511	12,750	11,438 ±1,705
oblast 2	15,071	7,418	7,151	12,351	10,867	10,572	
oblast 3	16,351	7,046	11,634	18,703	8,955	12,538	
oblast 4	12,546	5,656	13,508	13,379	12,028	11,423	
oblast 5	8,494	5,068	10,966	9,841	15,158	9,905	
materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	18,343	11,048	20,426	19,688	16,752	17,251	18,090 ±2,936
oblast 2	15,282	30,340	8,143	15,719	24,260	18,749	
oblast 3	23,744	6,655	16,152	21,120	12,694	16,073	
oblast 4	17,964	5,826	16,458	17,611	13,325	14,237	
oblast 5	8,493	4,552	17,467	14,171	23,420	13,621	

Tabulka 26 Závislost drsnosti povrchu na opotřebení břitů VB = 0 mm

Zkušební vzorek 12 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0,4 mm

Závislost P _{už} na VB											
VB = 0,4 mm											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0°											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti Puž [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			386 ±18	
1	P ₁ [kW]	1,254	1,274	1,279	1,290	1,300		1,279	0,386		
2		1,305	1,292	1,291	1,289	1,287		1,293	0,400		
3		1,254	1,260	1,269	1,273	1,277		1,267	0,374		
4		1,298	1,289	1,287	1,289	1,290		1,291	0,398		
5		1,252	1,255	1,269	1,273	1,277		1,265	0,372		
dynamometr Kistler											
vc	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti Puž [W]
133,5 [m/min]	úsek										636 ±67
	1	286,8	278,0	282,8	276,6	273,8	280,0	286,0	287,8	281,5	
	2	263,2	263,0	264,4	274,2	264,2	277,6	271,4	272,6	268,8	
	3	276,2	263,4	271,6	277,6	271,6	266,6	283,4	271,4	272,7	
	4	321,6	330,2	334,8	322,6	326,4	311,0	320,6	320,0	323,4	
	5	283,4	281,6	285,8	272,8	281,6	285,8	279,8	284,0	281,9	

Tabulka 27 Závislost $P_{už}$ na opotřebení břitu VB = 0,4 mm

Drsnost materiálu							
Opotřebení břitu VB = 0,4 mm							
ap = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), vc = 133,5 m * min ⁻¹ , γo = 0°							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,609	0,595	0,607	0,503	0,474	0,558	0,468 ±0,080
oblast 2	0,469	0,490	0,484	0,366	0,483	0,458	
oblast 3	0,493	0,585	0,490	0,413	0,406	0,477	
oblast 4	0,462	0,486	0,450	0,309	0,287	0,399	
oblast 5	0,492	0,510	0,503	0,417	0,323	0,449	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	3,607	3,303	3,634	2,965	2,593	3,220	2,897 ±0,313
oblast 2	2,947	3,102	3,017	2,138	2,863	2,813	
oblast 3	3,079	3,478	2,916	2,823	2,406	2,940	
oblast 4	2,816	2,901	2,982	1,971	2,322	2,598	
oblast 5	3,265	3,063	3,051	3,122	2,051	2,910	
Materiálový poměr profilu Cpt50 [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,343	1,933	2,083	1,690	1,668	1,943	1,354 ±0,369
oblast 2	1,626	2,039	1,504	1,044	1,628	1,568	
oblast 3	2,327	2,434	2,331	1,760	1,405	2,051	
oblast 4	1,604	1,644	1,752	0,981	1,028	1,402	
oblast 5	1,536	1,866	2,148	2,254	1,039	1,769	

Tabulka 28 Závislost drsnosti povrchu na opotřebení břitů VB = 0,4 mm

Zkušební vzorek 13 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), VB = 0,8 mm

Závislost P _{už} na VB											
VB = 0,8 mm											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0°											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti Puž [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893				
1	P ₁ [kW]	1,308	1,318	1,334	1,347	1,353		1,332	0,439	451 ±19	
2		1,345	1,350	1,356	1,357	1,362		1,354	0,461		
3		1,305	1,324	1,337	1,343	1,352		1,332	0,439		
4		1,365	1,360	1,362	1,365	1,363		1,363	0,470		
5		1,313	1,321	1,344	1,348	1,366		1,338	0,445		
dynamometr Kistler											
vc	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti Puž [W]
133,5 [m/min]	úsek										846 ±43
	1	389,8	402,8	393,0	382,2	383,6	397,4	390,2	366,2	388,2	
	2	353,6	351,2	362,4	352,2	371,0	379,8	371,0	344,4	360,7	
	3	367,2	370,4	368,4	371,4	375,8	381,2	369,2	369,6	371,7	
	4	382,0	415,8	393,8	382,2	396,6	405,8	410,2	376,2	395,3	
	5	390,0	389,0	386,2	388,4	386,2	384,4	368,2	403,0	386,9	

Tabulka 29 Závislost $P_{už}$ na opotřebení břitu VB = 0,8 mm

Drsnost materiálu							
Opotřebení břitu VB = 0,8 mm							
ap = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, za sucha, EN -16MnCr5 (14220.3), vc = 133,5 m * min ⁻¹ , γo = 0°							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,245	0,290	0,257	0,262	0,248	0,260	0,272 ±0,062
oblast 2	0,369	0,311	0,362	0,243	0,220	0,301	
oblast 3	0,233	0,320	0,280	0,153	0,191	0,235	
oblast 4	0,416	0,320	0,382	0,268	0,288	0,335	
oblast 5	0,264	0,168	0,389	0,168	0,162	0,230	
Největší výška profilu Rz							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,597	1,715	1,469	1,328	1,307	1,483	1,711 ±0,335
oblast 2	2,483	1,930	2,492	1,529	1,184	1,924	
oblast 3	1,480	1,891	1,765	1,229	1,184	1,510	
oblast 4	2,395	2,179	2,552	1,730	1,188	2,009	
oblast 5	1,622	1,127	3,419	0,974	1,009	1,630	
Materiálovýpoměr profilu Cpt50 [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,173	1,059	1,106	0,997	1,053	1,078	1,278 0,379
oblast 2	1,908	1,401	1,833	0,903	1,018	1,413	
oblast 3	0,997	1,196	0,874	0,656	0,884	0,921	
oblast 4	1,392	1,653	1,485	1,064	1,300	1,379	
oblast 5	1,056	0,726	5,097	0,610	0,501	1,598	

Tabulka 30 Závislost drsnosti povrchu na opotřebení břitu VB = 0,8 mm

6.1.5 Experiment 5

Byly zvoleny řezné podmínky podle tabulky 4. Proměnný parametr u experimentu 5, bylo procesní médium a to: 1) vzduch (za sucha), 2) Hocut 795B, 3) Multicut Extra 10, 4) Accu - Lube - LB 250. Výsledky experimentů jsou zaznamenány níže (tab. 31 – tab. 38).

Zkušební vzorek 14 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), obrábění za sucha

Závislost $P_{už}$ na procesní kapalině											
obrábění za sucha											
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 133,5 \text{ m} * \text{min}^{-1}$, $\gamma_o = 0^\circ$ $VB = 0\text{mm}$											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	arit. průměr P_0	arit. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]	
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			460 ±23	
1	P_1 [kW]	1,300	1,318	1,332	1,349	1,358		1,331	0,438		
2		1,378	1,377	1,369	1,370	1,366		1,372	0,479		
3		1,327	1,340	1,353	1,365	1,367		1,350	0,457		
4		1,372	1,370	1,366	1,369	1,358		1,367	0,474		
5		1,315	1,326	1,349	1,368	1,354		1,342	0,449		
dynamometr Kistler											
v_c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	arit. průměr F_c	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]
133,5 [m/min]	úsek										683 ±47
	1	295,8	312,8	301,8	323,8	300,4	298,8	297,8	314,4	305,7	
	2	318,0	319,4	306,4	325,8	318,4	324,6	310,8	319,4	317,9	
	3	308,0	313,8	306,4	307,2	306,4	287,8	311,2	300,0	305,1	
	4	325,6	324,2	324,0	330,0	316,6	325,0	319,6	327,4	324,1	
	5	282,2	280,0	281,0	281,8	298,4	271,8	278,4	298,4	284,0	

Tabulka 31 Závislost $P_{už}$ na obrábění za sucha

Drsnost materiálu							
obrábění za sucha							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0° VB = 0mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,360	1,324	1,693	1,992	1,840	1,642	1,382 ±0,305
oblast 2	1,846	0,877	0,894	1,290	1,087	1,199	
oblast 3	2,015	0,814	1,302	2,396	1,144	1,534	
oblast 4	1,615	0,638	1,919	1,437	1,451	1,412	
oblast 5	0,895	0,548	1,436	1,132	1,595	1,121	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	10,845	11,094	12,988	14,314	14,511	12,750	11,438 ±1,705
oblast 2	15,071	7,418	7,151	12,351	10,867	10,572	
oblast 3	16,351	7,046	11,634	18,703	8,955	12,538	
oblast 4	12,546	5,656	13,508	13,379	12,028	11,423	
oblast 5	8,494	5,068	10,966	9,841	15,158	9,905	
materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	18,343	11,048	20,426	19,688	16,752	17,251	18,090 ±2,936
oblast 2	15,282	30,340	8,143	15,719	24,260	18,749	
oblast 3	23,744	6,655	16,152	21,120	12,694	16,073	
oblast 4	17,964	5,826	16,458	17,611	13,325	14,237	
oblast 5	8,493	4,552	17,467	14,171	23,420	13,621	

Tabulka 32 Závislost drsnosti povrchu na obrábění za sucha

**Zkušební vzorek 15 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), procesní kap.
Hocut 795B**

Závislost P _{už} na procesní kapalině											
procesní kapalina Hocut 795B											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0° VB = 0mm											
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			397 ±14	
1	P ₁ [kW]	1,270	1,286	1,291	1,297	1,301		1,289	0,396		
2		1,279	1,281	1,253	1,266	1,288		1,273	0,380		
3		1,297	1,295	1,301	1,302	1,298		1,299	0,406		
4		1,296	1,298	1,293	1,290	1,285		1,292	0,399		
5		1,282	1,304	1,301	1,299	1,296		1,296	0,403		
dynamometr Kistler											
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]
133,5 [m/min]	úsek										619 ±34
	1	295,0	289,4	288,4	284,0	288,0	280,0	297,6	284,6	288,4	
	2	261,4	276,6	278,4	276,6	284,2	264,4	284,0	283,2	276,1	
	3	258,0	263,6	265,2	260,0	247,8	260,6	263,8	264,4	260,4	
	4	291,2	281,2	294,6	290,4	272,6	287,4	283,0	288,0	286,1	
	5	278,4	277,2	267,6	282,6	285,0	278,8	287,0	284,6	280,2	

Tabulka 33 Závislost $P_{už}$ na procesní kapalině Hocut 795B

Drsnost materiálu							
procesní kapalina Hocut 795B							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0°, VB = 0mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,821	0,566	0,644	0,582	0,473	0,617	0,413 ±0,168
oblast 2	0,440	0,464	0,493	0,381	0,338	0,423	
oblast 3	0,389	0,392	0,345	0,292	0,264	0,336	
oblast 4	0,380	0,320	0,394	0,295	0,213	0,320	
oblast 5	0,365	0,345	0,443	0,359	0,321	0,367	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	5,031	3,738	3,848	3,707	2,949	3,855	2,761 ±0,865
oblast 2	2,606	3,054	2,875	2,098	2,684	2,663	
oblast 3	3,010	2,580	2,447	1,743	1,811	2,318	
oblast 4	3,014	2,489	2,950	2,339	1,565	2,471	
oblast 5	2,524	2,278	3,107	2,383	2,196	2,498	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	3,529	1,909	2,308	2,070	1,771	2,317	1,648 ±0,538
oblast 2	1,610	1,644	1,829	1,196	1,515	1,559	
oblast 3	1,846	1,612	1,741	0,903	1,270	1,474	
oblast 4	1,827	1,313	1,388	1,120	0,946	1,319	
oblast 5	1,526	1,673	2,093	1,494	1,058	1,569	

Tabulka 34 Závislost drsnosti povrchu na procesní kapalině Hocut 795B

**Zkušební vzorek 16 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), procesní kap.
Multicut Extra 10**

Závislost P _{už} na procesní kapalině											
procesní kapalina Multicut Extra 10,											
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0° VB = 0mm											
třířázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0											
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P ₀	aritm. průměr P ₁	P _{už}	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]	
úsek	P ₀ [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893			370 ±17	
1	P ₁ [kW]	1,289	1,264	1,258	1,248	1,236		1,259	0,366		
2		1,275	1,273	1,276	1,277	1,274		1,275	0,382		
3		1,263	1,256	1,255	1,234	1,240		1,250	0,357		
4		1,272	1,271	1,278	1,282	1,279		1,276	0,383		
5		1,270	1,268	1,253	1,242	1,233		1,253	0,360		
dynamometr Kistler											
v _c	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F _c	statistický interval spolehlivosti P _{už} [W]
133,5 [m/min]	úsek										665 ±31
	1	307,6	294,4	305,4	323,0	294,0	310,6	285,4	298,4	302,4	
	2	287,8	297,2	299,0	307,4	301,6	294,8	302,6	302,8	299,2	
	3	317,6	312,6	298,6	311,0	315,8	321,6	313,6	322,4	314,2	
	4	290,0	286,2	294,2	299,6	287,6	281,8	287,8	278,4	288,2	
	5	291,6	289,6	280,0	288,4	289,4	297,8	310,4	289,0	292,0	

Tabulka 35 Závislost $P_{už}$ na procesní kapalině Multicut Extra 10

Drsnost materiálu							
procesní kapalina Multicut Extra 10							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0°, VB = 0mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,566	0,471	0,543	0,596	0,580	0,551	0,442 ±0,089
oblast 2	0,442	0,438	0,482	0,423	0,353	0,428	
oblast 3	0,408	0,479	0,498	0,438	0,350	0,435	
oblast 4	0,394	0,362	0,407	0,386	0,378	0,385	
oblast 5	0,431	0,467	0,457	0,402	0,303	0,412	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	3,720	2,783	3,424	3,668	2,199	3,159	2,949 ±0,224
oblast 2	3,043	3,241	2,925	2,695	2,684	2,918	
oblast 3	3,339	3,201	3,253	2,831	2,724	3,070	
oblast 4	2,725	2,820	3,042	2,806	2,638	2,806	
oblast 5	2,844	3,114	3,163	2,609	2,230	2,792	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	arit. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	1,856	1,631	2,154	2,166	1,563	1,874	1,670 ±0,220
oblast 2	1,688	1,541	1,719	1,330	1,463	1,548	
oblast 3	1,428	1,530	1,422	2,591	2,076	1,809	
oblast 4	1,540	1,898	1,552	1,513	1,232	1,547	
oblast 5	1,507	2,191	1,595	1,475	1,094	1,572	

Tabulka 36 Závislost drsnosti povrchu na procesní kapalině Multicut Extra 10

**Zkušební vzorek 17 - konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), procesní kap.
Accu - Lube - LB 250**

Závislost $P_{už}$ na procesní kapalině																		
procesní kapalina Accu - Lube - LB 250																		
$a_p = 1,0 \text{ mm}$, $f = 0,07 \text{ mm/ot}$, EN -16MnCr5 (14220.3), $v_c = 133,5 \text{ m} * \text{min}^{-1}$, $\gamma_o = 0^\circ$ $VB = 0\text{mm}$																		
třífázový analyzátor výkonu DW 6069 - 0																		
	číslo měř.	1	2	3	4	5	aritm. průměr P_0	aritm. průměr P_1	$P_{už}$	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]								
úsek	P_0 [kW]	0,890	0,893	0,889	0,896	0,897	0,893	1,291	0,398	406 ±16								
1	P_1 [kW]	1,276	1,280	1,292	1,300	1,307					1,291	0,398						
2		1,315	1,313	1,311	1,314	1,312							1,313	0,420				
3		1,278	1,284	1,292	1,299	1,304									1,291	0,398		
4		1,312	1,314	1,307	1,310	1,312											1,311	0,418
5		1,267	1,281	1,296	1,298	1,305												
dynamometr Kistler																		
	číslo měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	aritm. průměr F_c	statistický interval spolehlivosti $P_{už}$ [W]							
133,5 [m/min]	úsek										632 ±24							
	1	292,8	279,8	284,6	306,8	302,0	304,0	303,0	284,2	294,7								
	2	298,8	285,4	294,2	290,2	268,4	286,4	302,6	287,8	289,2								
	3	273,6	284,0	277,0	285,0	277,8	281,0	269,2	277,2	278,1								
	4	289,8	287,8	282,2	279,0	281,2	290,4	279,6	279,2	283,7								
	5	277,2	272,6	270,8	275,8	283,2	274,4	267,0	289,6	276,3								

Tabulka 37 Závislost $P_{už}$ na procesní kapalině Accu - Lube - LB 250

Drsnost materiálu							
procesní kapalina Accu - Lube - LB 250							
a _p = 1,0 mm, f = 0,07 mm/ot, EN -16MnCr5 (14220.3), v _c = 133,5 m * min ⁻¹ , γ _o = 0°, VB = 0mm							
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [μm]							
číslo měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	0,694	0,627	0,557	0,485	0,685	0,610	0,523 ±0,082
oblast 2	0,565	0,493	0,588	0,398	0,569	0,523	
oblast 3	0,569	0,565	0,514	0,490	0,539	0,535	
oblast 4	0,464	0,494	0,459	0,414	0,410	0,448	
oblast 5	0,512	0,545	0,539	0,477	0,416	0,498	
Největší výška profilu Rz [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	3,930	3,915	3,429	3,353	4,131	3,752	3,467 ±0,348
oblast 2	3,421	2,955	3,607	3,000	4,070	3,411	
oblast 3	4,070	3,918	3,443	3,357	3,577	3,673	
oblast 4	3,075	3,733	3,147	2,851	2,827	3,127	
oblast 5	3,646	3,801	3,668	2,990	2,751	3,371	
Materiálový poměr profilu Cpt ₅₀ [μm]							
poč. měření	1	2	3	4	5	aritm. průměr	statistický interval spolehlivosti
oblast 1	2,167	2,287	1,779	1,867	2,122	2,044	2,017 ±0,114
oblast 2	1,592	1,479	1,977	2,070	2,861	1,996	
oblast 3	2,508	2,232	1,872	1,800	2,114	2,105	
oblast 4	2,347	2,495	2,343	1,520	1,551	2,051	
oblast 5	2,465	1,718	2,345	1,425	1,484	1,887	

Tabulka 38 Závislost drsnosti povrchu na procesní kapalině Accu - Lube - LB 250

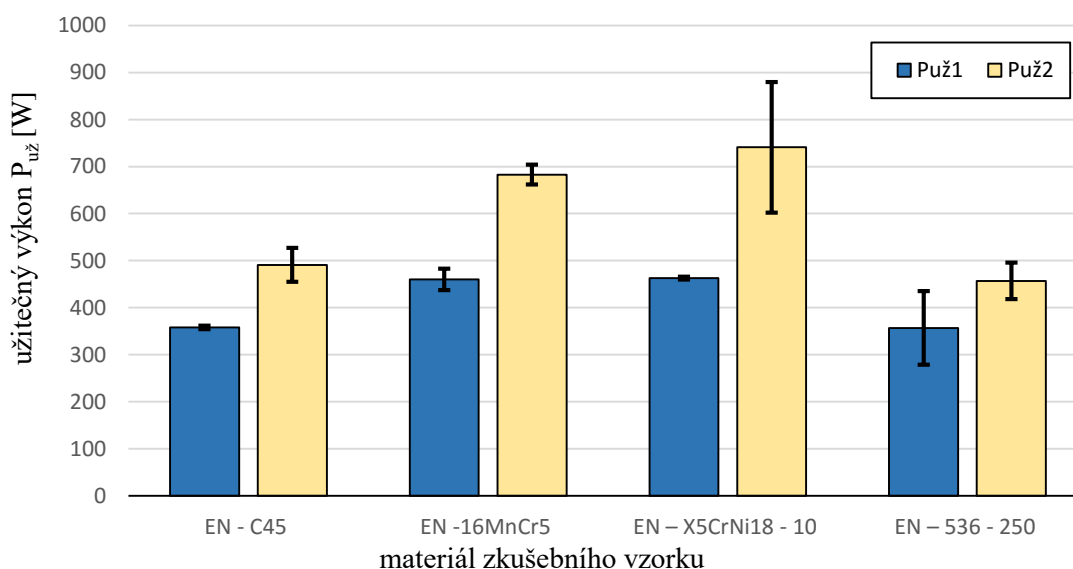
7 Hodnocení experimentů

7.1 Hodnocení vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování

Vliv vybraných technologických parametrů na užitečný výkon, byl vyhodnocen ze zvolených řezných podmínek podle tabulky 4. V rámci vyhodnocení experimentů byla práce rozdělena na pět částí. U každého experimentu jsou v záhlaví tabulky uvedeny použité řezné podmínky dle tabulky 4. Výsledky jednotlivých experimentů jsou uvedeny v tabulkách (tab. 5 – tab. 38), ze kterých bylo provedeno grafické znázornění vlivu vybraných technologických parametrů na užitečný výkon. Měření bylo prováděno současně třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 a dynamometrem Kistler. Kde $P_{už1}$ je užitečný výkon odečtený z třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, $P_{už2}$ je užitečný výkon vypočtený z hodnot řezné síly F_c , které byly získány ze zařízení dynamometr Kistler.

7.1.1 Hodnocení experimentu 1

Hodnocení vlivu obráběného materiálu na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování je zobrazeno na obrázku 27 a obrázku 28. Pro experiment 1 byly zvoleny řezné podmínky odpovídající řezným podmínkám v záhlaví tabulky (5 - 12).



Obr. 27 Závislost $P_{už}$ na obráběném materiálu

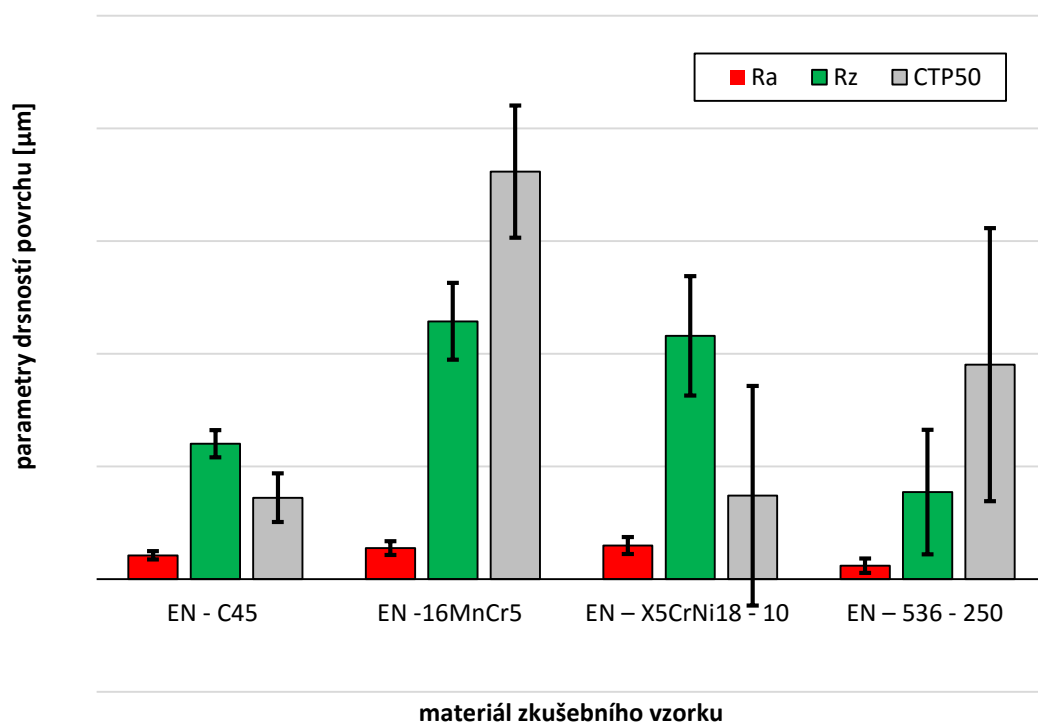
Na obrázku 27 byl zaznamenán užitečný výkon spotřebovaný při procesu frézování, v závislosti na obráběném materiálu. Hodnoty získané z třífázového

analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, byly označeny jako $P_{už1}$. Minimální hodnota $P_{už1}$, byla zaznamenána u obráběného materiálu EN - 536-250, její hodnota činila 357 ± 78 [W]. Druhá nejnižší hodnota byla zaznamenána u materiálu EN – C45, ta měla hodnotu 358 ± 4 [W]. Třetí v pořadí následoval materiál EN -16MnCr5, jehož hodnota byla 460 ± 23 [W]. Nejvyšší hodnota byla u obráběného materiálu EN – X5CrNi18 – 10, ta dosahovala hodnoty 463 ± 43 [W].

Hodnoty zaznamenané pomocí dynamometru Kistler, byly označeny jako $P_{už2}$. Minimální hodnota užitečného výkonu $P_{už2}$ byla zaznamenána u obráběného materiálu EN - 536-250, dosahovala hodnoty 457 ± 39 [W]. Druhá nejnižší hodnota byla zaznamenána u materiálu EN – C45, ta měla hodnotu 491 ± 35 [W]. Třetí v pořadí následoval materiál EN -16MnCr5, jehož hodnota byla 683 ± 47 [W]. Nejvyšší hodnota byla u obráběného materiálu EN – X5CrNi18 – 10, ta dosahovala hodnoty 741 ± 139 [W].

Při hodnocení výsledků užitečného výkonu $P_{už1}$ a $P_{už2}$, bylo zjištěno, že nejmenší spotřebovaný užitečný výkon byl u obou zařízení u materiálu EN - 536-250. Z výsledků můžeme tedy usoudit, že materiál EN - 536-250 má nejlepší obrobitelnost. Naopak nejhorší obrobitelnost vykazoval u obou zařízení materiál EN – X5CrNi18 – 10, jehož obrobitelnost je podle strojírenských tabulek 10b. Druhou nejlepší obrobitelnost vykazoval materiál EN – C45 (obrobitelnost 14b) a třetí materiál s nejlepší obrobitelností byl materiál EN -16MnCr5 (obrobitelnost 12b – 13b). Z výsledků můžeme usoudit, že měření proběhlo správně.

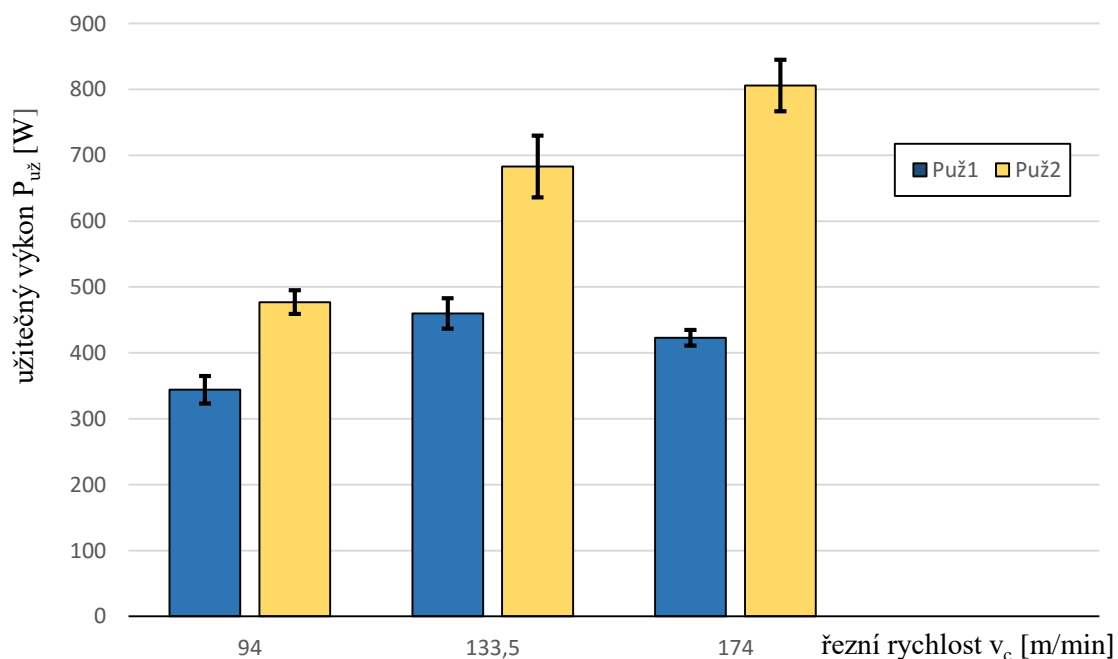
Na obrázku 28 byla zaznamenána drsnost povrchu materiálu Ra, Rz a c_{tp50} . Nejnižší průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra, byla změřena u materiálu EN - 536-250, naopak největší u materiálu EN – X5CrNi18 – 10. Druhou nejnižší drsnost vykazoval materiál EN – C45 a třetí materiál EN -16MnCr5. Největší výška profilu Rz byla změřena u materiálu EN -16MnCr5, přibližně stejná hodnota byla naměřena i u materiálu EN – X5CrNi18 – 10, naopak nejmenší hodnotu vykazoval materiál EN - 536-250 a materiál EN – C45. Materiálový poměr profilu c_{pt50} dosahoval nejvyšší hodnoty u materiálu EN -16MnCr5, následoval materiál EN - 536-250 a s přibližně stejnou hodnotou materiál EN – C45 a materiál EN – X5CrNi18 – 10.



Obr. 28 Závislost parametrů drsnosti povrchu na obráběném materiálu

7.1.2 Hodnocení experimentu 2

Hodnocení vlivu řezné rychlosti na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování je zobrazeno na obrázku 29 a obrázku 30. Pro experiment 2 byly zvoleny řezné podmínky odpovídající řezným podmínkám v záhlaví tabulky (13 - 18).



Obr. 29 Závislost P_{uz} na řezné rychlosti v_c

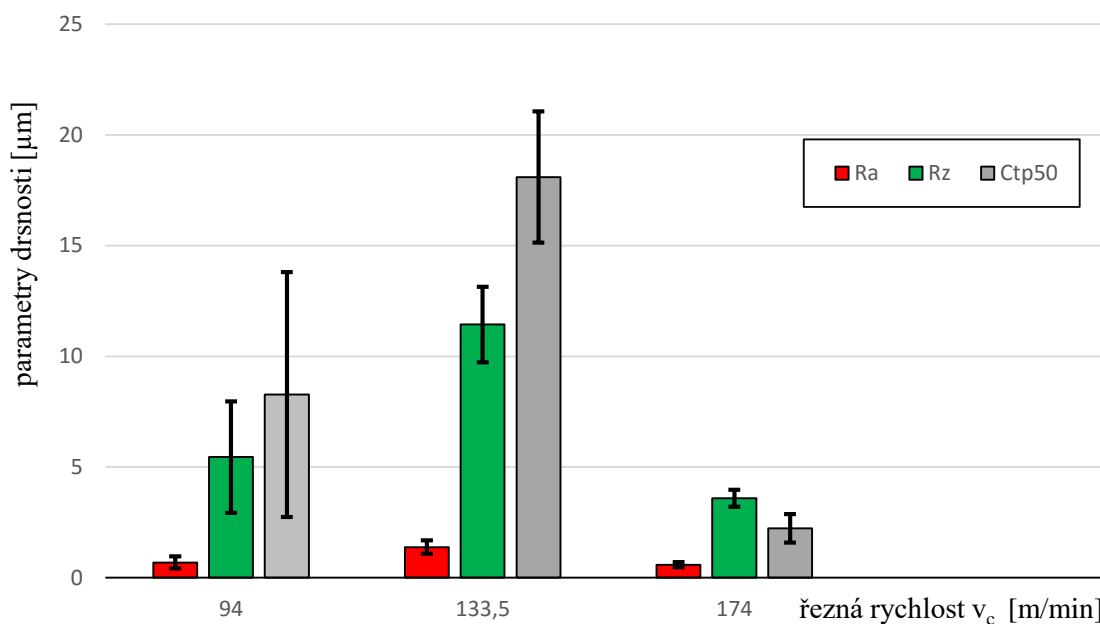
Na obrázku 29 byl zaznamenán užitečný výkon spotřebovaný při frézování v závislosti na řezné rychlosti v_c . Hodnoty získané z třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, byly označeny jako $P_{už1}$. Minimální hodnota $P_{už1}$, byla zaznamenána u řezné rychlosti $94,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, dosahovala hodnoty $344 \pm 21 \text{ [W]}$. Druhá nejnižší hodnota $P_{už1}$ byla zaznamenána u rychlosti $174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, která dosáhla hodnoty $423 \pm 12 \text{ [W]}$, což však neodpovídá předpokladu, že s vyšší řeznou rychlostí v_c roste i spotřebovaný užitečný výkon. Jediným vysvětlením by mohl být fakt, že s vyšší řeznou rychlostí se zvyšuje teplota materiálu, který se stává plastičtější, tedy lépe obrobitelný. Tuto úvahu však nepotvrzuje zaznamenaná hodnota z dynamometru Kistler. Největší hodnota $P_{už1}$ byla zaznamenána u rychlosti $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, ta dosáhla hodnoty $460 \pm 23 \text{ [W]}$.

Hodnoty zaznamenané pomocí dynamometru Kistler, byly označeny jako $P_{už2}$. Minimální hodnota užitečného výkonu $P_{už2}$ byla zaznamenána u řezné rychlosti $94,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, dosahovala hodnoty $477 \pm 18 \text{ [W]}$. Druhá nejnižší hodnota byla zaznamenána u řezné rychlosti $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, ta měla hodnotu $683 \pm 47 \text{ [W]}$. Nejvyšší hodnota byla u řezné rychlosti $174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, ta dosahovala hodnoty $806 \pm 39 \text{ [W]}$.

Při hodnocení výsledků užitečného výkonu $P_{už1}$ a $P_{už2}$ bylo zjištěno, že nejmenší spotřebovaný užitečný výkon byl u obou zařízení u řezné rychlosti $94,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Druhá nejnižší hodnota spotřebovaného užitečného výkonu je u obou zařízení rozdílná, zatímco pro $P_{už1}$ je to řezná rychlost $174,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, tak pro $P_{už2}$ je to řezná rychlost $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Poznatky z odborné literatury uvádí, že s rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá spotřebovaný užitečný výkon. Z tohoto poznatku bylo usouzeno, že v měření třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 došlo k chybě. Největší hodnota $P_{už2}$ byla zaznamenána u rychlosti $174,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Z toho vyplývá, že naměřené hodnoty z dynamometru Kistler jsou správně.

Na obrázku 30 byla zaznamenána drsnost povrchu materiálu R_a , R_z a c_{tp50} . Nejnižší průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a , byla změřena u rychlosti $174,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, téměř totožná hodnota byla zaznamenána u rychlosti $94 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Největší hodnota byla naměřena u řezné rychlosti $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Největší výška profilu R_z byla změřena u řezné rychlosti $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Druhá největší hodnota R_z , byla změřena u řezné rychlosti $94,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejnižší hodnota R_z byla u řezné rychlosti $174,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Materiálový poměr profilu c_{pt50} dosahoval nejvyšší hodnoty u

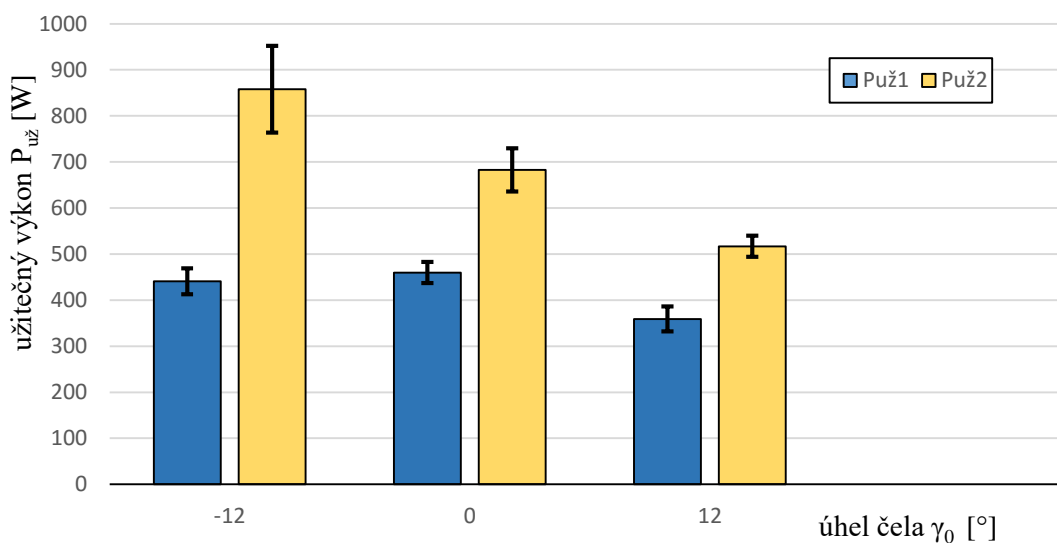
řezné rychlosti $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, následovala řezná rychlost $94 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a nejnižší hodnoty dosáhla řezná rychlost $174,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 30 Závislost parametrů drsnosti povrchu na řezné rychlosti v_c

7.1.3 Hodnocení experimentu 3

Hodnocení vlivu úhlu čela na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování je zobrazeno na obrázku 31 a obrázku 32. Pro experiment 3 byly zvoleny řezné podmínky odpovídající řezným podmínkám v záhlaví tabulky (19 - 24).



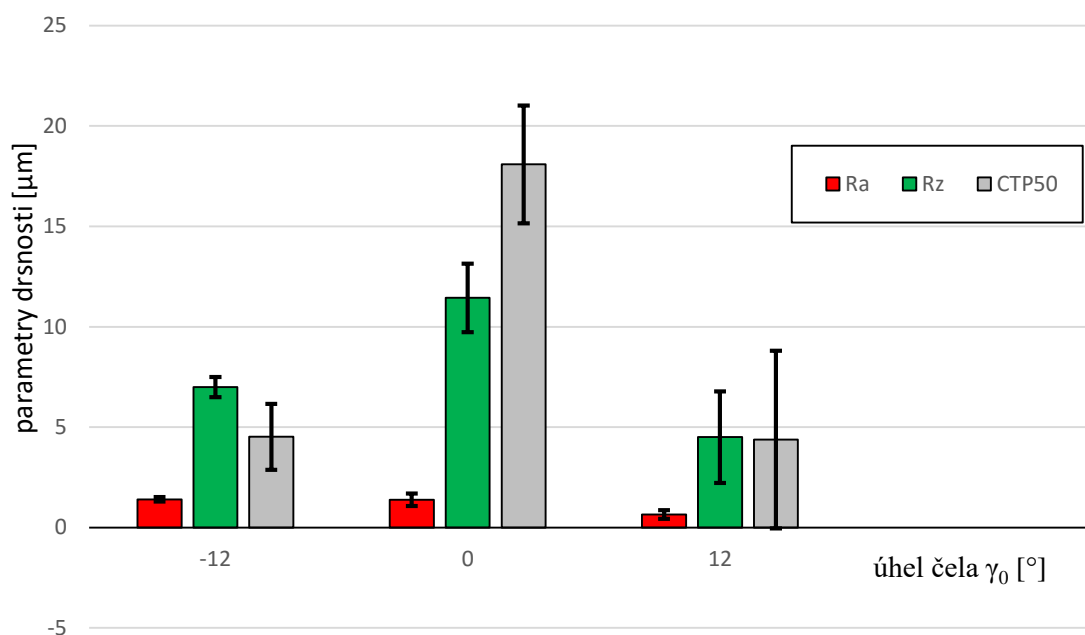
Obr. 31 Závislost $P_{už}$ na úhlu čela γ_0

Na obrázku 31 byl zaznamenán užitečný výkon spotřebovaný při frézování v závislosti na úhlu čela γ_0 . Hodnoty získané z třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, byly označeny jako $P_{už1}$. Minimální hodnota $P_{už1}$, byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = +12^\circ$, dosahovala hodnoty 359 ± 27 [W]. Druhá nejnížší hodnota $P_{už1}$ byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$, která dosáhla hodnoty 441 ± 28 [W], což však neodpovídá předpokladu, že negativní úhel čela zvýší odebíraný užitečný výkon. Největší hodnota $P_{už1}$ byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = 0^\circ$, ta dosáhla hodnoty 460 ± 23 [W].

Hodnoty zaznamenané pomocí dynamometru Kistler, byly označeny jako $P_{už2}$. Minimální hodnota užitečného výkonu $P_{už2}$ byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = +12^\circ$, dosahovala hodnoty 571 ± 23 [W]. Druhá nejnížší hodnota byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = 0^\circ$, ta měla hodnotu 683 ± 47 [W]. Nejvyšší hodnota byla u úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$, ta dosahovala hodnoty 858 ± 94 [W].

Při hodnocení výsledků užitečného výkonu $P_{už1}$ a $P_{už2}$, bylo zjištěno, že nejmenší spotřebovaný užitečný výkon byl u obou zařízení u úhlu čela $\gamma_0 = +12^\circ$. Druhá nejnížší hodnota spotřebovaného užitečného výkonu je u obou zařízení rozdílná, zatímco pro $P_{už1}$ je to úhel čela $\gamma_0 = -12^\circ$ a pro $P_{už2}$ je to úhel čela $\gamma_0 = 0^\circ$. Poznatky z odborné literatury uvádí, že spotřebovaný užitečný výkon roste, klesá – li úhel čela do záporných hodnot. Z tohoto poznatku bylo usouzeno, že v měření třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 došlo k chybě. Největší hodnota $P_{už2}$ byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$. Z toho vyplývá, že naměřené hodnoty z dynamometru Kistler jsou správně.

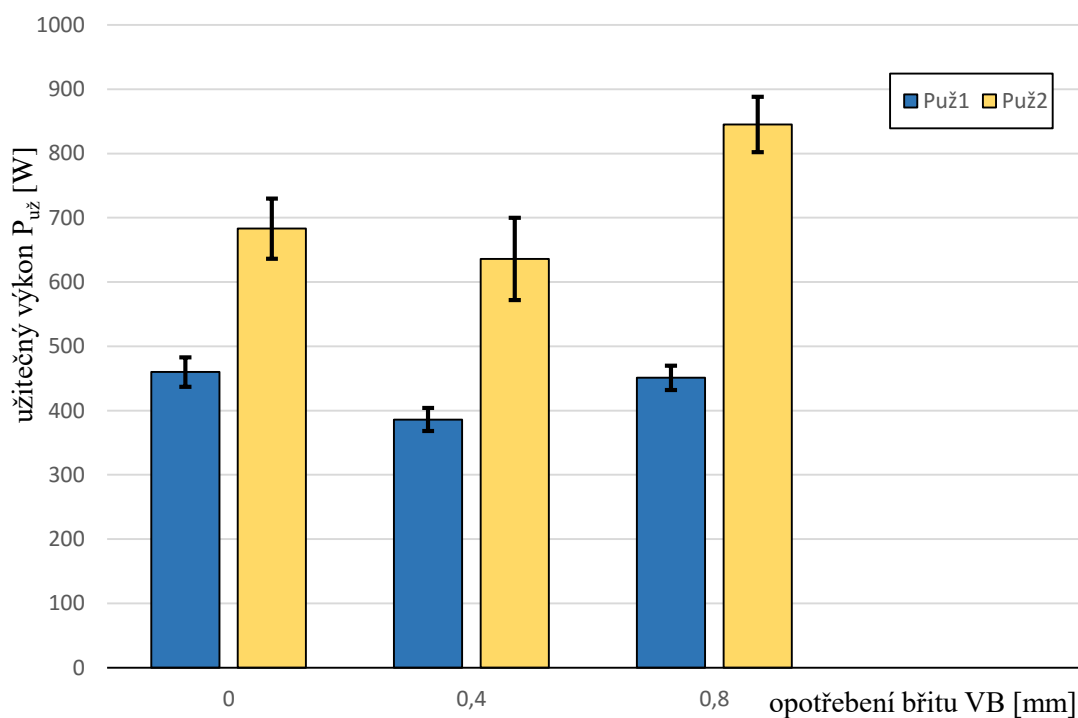
Na obrázku 32 byla zaznamenána drsnost povrchu materiálu Ra, Rz a c_{tp50} . Nejnížší průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra, byla změřena u úhlu čela $\gamma_0 = 12^\circ$. Největší hodnota byla naměřena u úhlu čela $\gamma_0 = 0^\circ$, téměř totožná hodnota byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$. Největší výška profilu Rz byla změřena u úhlu čela $\gamma_0 = 0^\circ$. Druhá největší hodnota Rz, byla změřena u úhlu čela $\gamma_0 = -12^\circ$. Nejnížší hodnota Rz byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = 12^\circ$. Materiálový poměr profilu c_{pt50} dosahoval nejvyšší hodnoty u úhlu čela $\gamma_0 = 0^\circ$, zbývající hodnoty jsou pro úhel čela $\gamma_0 = -12^\circ$ a úhel čela $\gamma_0 = 12^\circ$ téměř totožné.



Obr. 32 Závislost parametrů drsnosti povrchu na úhlu čela γ_0

7.1.4 Hodnocení experimentu 4

Hodnocení vlivu opotřebení břitu VB na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování je zobrazeno na obrázku 33 a obrázku 34. Pro experiment 4 byly zvoleny řezné podmínky odpovídající řezným podmínkám v záhlaví tabulky (25 - 30).



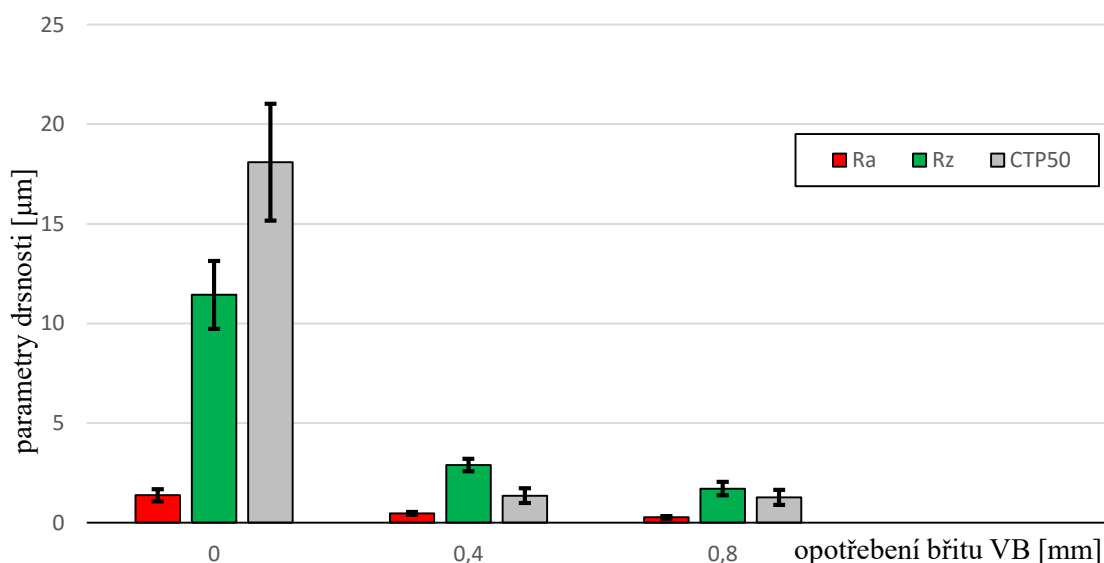
Obr. 33 Závislost $P_{už}$ na opotřebení břitu VB

Na obrázku 33 byl zaznamenán užitečný výkon spotřebovaný při frézování v závislosti na opotřebení břitu VB. Hodnoty získané z třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, byly označeny jako $P_{už1}$. Minimální hodnota $P_{už1}$, byla zaznamenána u opotřebení břitu VB = 0,4 mm, dosahovala hodnoty 386 ± 18 [W]. Druhá nejnižší hodnota $P_{už1}$ byla zaznamenána u VB = 0,8 mm, která dosáhla hodnoty 451 ± 15 [W], Největší hodnota $P_{už1}$ byla zaznamenána u VB = 0,0 mm, ta dosáhla hodnoty 460 ± 23 [W].

Hodnoty zaznamenané pomocí dynamometru Kistler, byly označeny jako $P_{už2}$. Minimální hodnota užitečného výkonu $P_{už2}$ byla zaznamenána u VB = 0,4 mm, dosahovala hodnoty 636 ± 67 [W]. Druhá nejnižší hodnota byla zaznamenána u VB = 0,0 mm, ta měla hodnotu 683 ± 47 [W]. Nejvyšší hodnota byla u VB = 0,8 mm, ta dosahovala hodnoty 845 ± 43 [W].

Při hodnocení výsledků užitečného výkonu $P_{už1}$ a $P_{už2}$, bylo zjištěno, že nejmenší spotřebovaný užitečný výkon byl u obou zařízení u VB = 0,4 mm. Což neodpovídá předpokladu, že se zvětšujícím se opotřebením, roste řezná síla F_c , tedy vzrůstá i spotřebovaný užitečný výkon. Zbýlé výsledky tomuto předpokladu odpovídají, kde největší spotřebovaný užitečný výkon je u opotřebení VB = 0,8 mm.

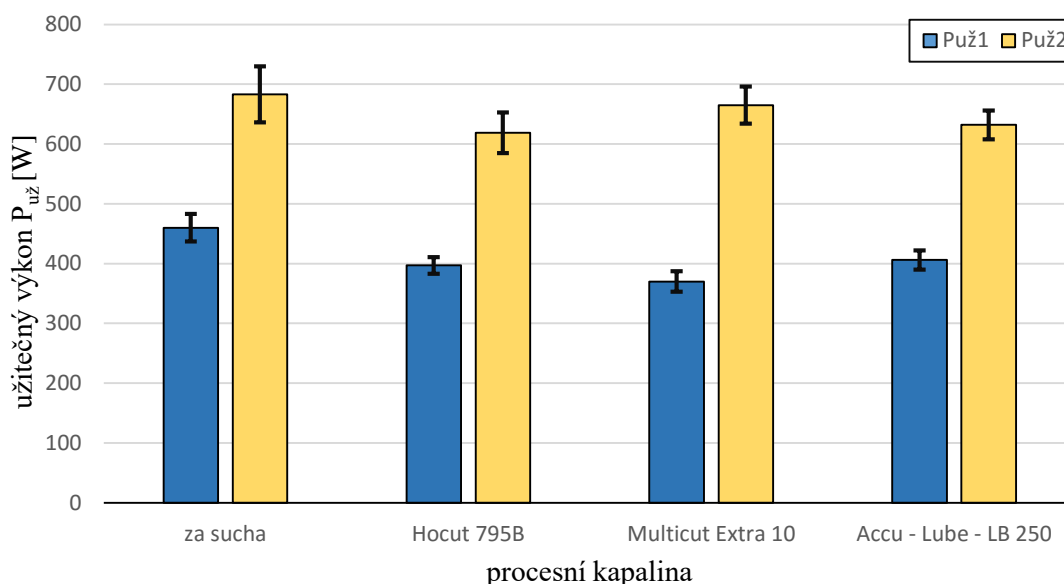
Na obrázku 34 byla zaznamenána drsnost povrchu materiálu Ra, Rz a c_{tp50} . Nejnižší průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra, byla změřena u VB = 0,4 mm. Zbýlé dvě hodnoty Ra jsou téměř totožné. Největší výška profilu Rz a hodnota materiálového poměru profilu c_{tp50} , byla změřena u VB = 0,0 mm. U zbývajících hodnot VB = 0,4 mm a VB = 08 mm, můžeme sledovat rapidní pokles hodnoty Rz a c_{tp50} .



Obr. 34 Závislost parametrů drsnosti povrchu na opotřebení břitu VB

7.1.5 Hodnocení experimentu 5

Hodnocení vlivu procesní kapaliny na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování je uvedeno na obrázku 35 a obrázku 36. Pro experiment 5 byly zvoleny řezné podmínky odpovídající řezným podmínkám v záhlaví tabulky (31 - 38).



Obr. 35 Závislost $P_{už}$ na procesní kapalině

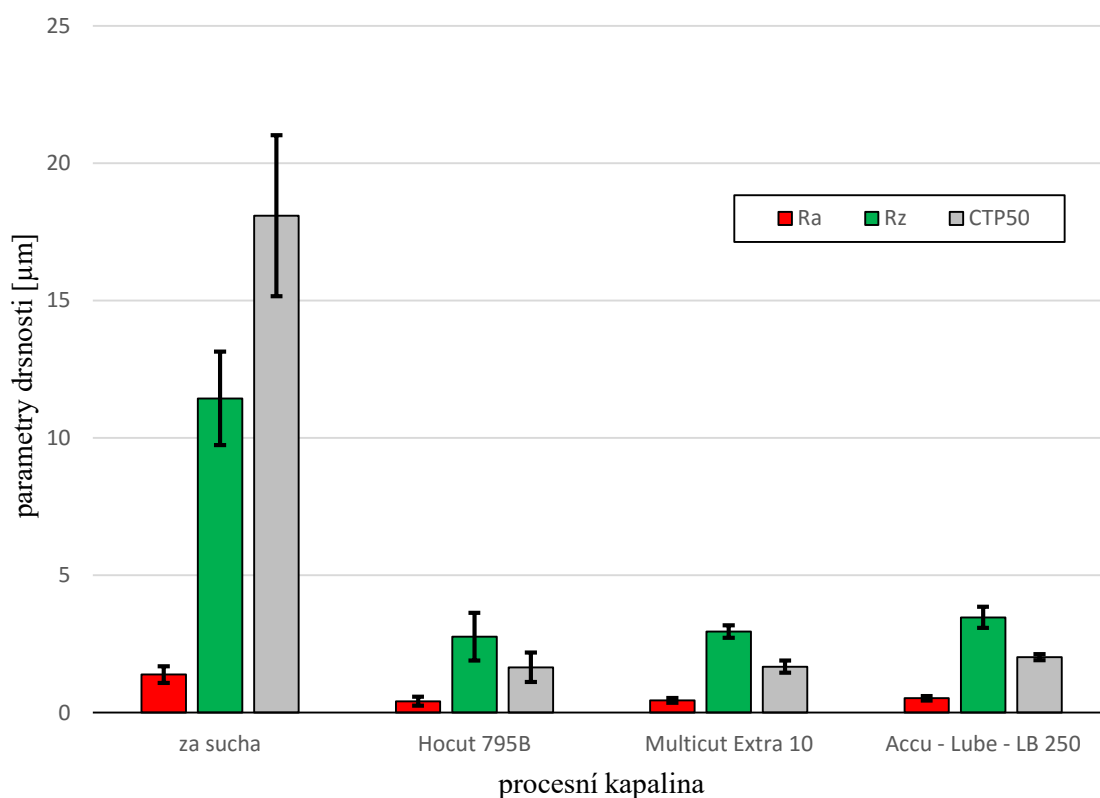
Na obrázku 35 byl zaznamenán užitečný výkon spotřebovaný při frézování v závislosti na procesní kapalině. Hodnoty získané z třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, byly označeny jako $P_{už1}$. Nejvyšší zaznamenaná hodnota je podle předpokladu u frézování za sucha a to 460 ± 23 W. Při použití procesních kapalin, bylo docíleno snížení spotřebovaného užitečného výkonu. Největší snížení bylo zaznamenáno u řezného oleje Multicut Extra 10, jehož hodnota činila 370 ± 17 [W]. Zbylé dvě procesní kapaliny Hocut 795B a Accu – Lube – LB 250, měli přibližně stejnou hodnotu.

Hodnoty zaznamenané pomocí dynamometru Kistler, byly označeny jako $P_{už2}$. Nejvyšší zaznamenaná hodnota je podle předpokladu u frézování za sucha a to 683 ± 47 [W]. Nejnižší hodnota byla zaznamenána u procesní kapaliny Hocut 795B, ta měla hodnotu 619 ± 34 [W], téměř totožná hodnota byla zaznamenaná u procesní kapaliny Accu – Lube – LB 250. Hodnota procesní kapaliny Multicut Extra 10 dosahovala hodnoty 665 ± 31 [W].

Při hodnocení výsledků užitečného výkonu $P_{už1}$ a $P_{už2}$, bylo zjištěno, že největší spotřebovaný užitečný výkon byl u obou zařízení u frézování za sucha. Při použití procesní kapaliny se spotřebovaný užitečný výkon u obou zařízení snížil. U měření

procesní kapaliny Multicut Extra 10 pomocí třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, došlo pravděpodobně k chybě měření. Neodpovídá totiž hodnotě získané z dynamometru Kistler, který v předcházejících měřeních prokázal lepší přesnost a spolehlivost.

Na obrázku 36 byla zaznamenána drsnost povrchu materiálu Ra, Rz a c_{tp50} . Nejvyšší průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra, byla změřena u frézování za sucha. Při použití procesních kapalin je hodnota Ra u všech procesních kapalin téměř stejná. Největší výška profilu Rz a hodnota materiálového poměru profilu c_{tp50} , byla zaznamenána u frézování za sucha. Při použití procesních kapalin jsou zaznamenané hodnoty přibližně stejné a jejich hodnota se oproti frézování za sucha rapidně zlepšila.



Obr. 36 Závislost parametrů drsnosti povrchu na opotřebení bříty VB

8 Závěr

8.1 Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků

Cílem bakalářské práce bylo zkoumat vlivy vybraných technologických parametrů na užitečný výkon při frézování. Užitečný výkon byl získán pomocí dvou zařízení, která pracovala současně a to: třífázový analyzátor výkonu DW 6069 – 0 a dynamometr Kistler. Hodnoty získané z třífázového analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, byly označeny jako $P_{už1}$ a hodnoty zaznamenané pomocí dynamometru Kistler, byly označeny jako $P_{už2}$. Dalším cílem bylo zjistit vliv vybraných technologických parametrů na drsnost povrchu při frézování.

Pro tuto práci byly použity 4 materiály a to: konstrukční ocel EN - C45 (12050.1), konstrukční ocel EN -16MnCr5 (14220.3), antikorozi ocel EN – X5CrNi18 - 10 (17 240) a litina EN - 536-250 (unibar 250). Dále byla použita čtyři procesní média, z toho 3 procesní kapaliny a to: Hocut 975B, Multicut Extra 10, Accu – Lube - LB – 250 a procesní médium okolní vzduch (za sucha). Ostatní řezné podmínky jsou v tabulce 4.

Veškeré frézovací operace byly provedeny na frézce FNG 32, obráběcím nástrojem byla čelní fréza Narex 2460.2 s vyměnitelnou břitovou destičkou SPGN – S20120304.

Práce byla rozdělena do pěti experimentů:

- **Experiment 1:** byl hodnocen vliv obráběného materiálu na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování. Byly zvoleny tyto řezné podmínky ($a_p = 1,0$ mm, $f = 0,07$ mm/ot, $\gamma_o = 0^\circ$, za sucha, $v_c = 133,5$ m.min⁻¹, VB = 0 mm).
- **Experiment 2:** byl hodnocen vliv řezné rychlosti na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování. Byly zvoleny tyto řezné podmínky ($a_p = 1,0$ mm, $f = 0,07$ mm/ot, $\gamma_o = 0^\circ$, za sucha, materiál EN -16MnCr5, VB = 0 mm).
- **Experiment 3:** byl hodnocen vliv úhlu čela γ_o na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování. Byly zvoleny tyto řezné podmínky ($a_p = 1,0$ mm, $f = 0,07$ mm/ot, $v_c = 133,5$ m.min⁻¹, za sucha, materiál EN -16MnCr5, VB = 0 mm).
- **Experiment 4:** byl hodnocen vliv opotřebení břitu VB na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování. Byly zvoleny tyto řezné podmínky ($a_p = 1,0$ mm, $f = 0,07$ mm/ot, $v_c = 133,5$ m.min⁻¹, za sucha, materiál EN -16MnCr5, $\gamma_o = 0^\circ$).

- **Experiment 5:** byl hodnocen vliv procesních kapalin na užitečný výkon a drsnost povrchu při frézování. Byly zvoleny tyto řezné podmínky ($a_p = 1,0$ mm, $f = 0,07$ mm/ot, $v_c = 133,5$ m.min⁻¹, materiál EN -16MnCr5, $\gamma_o = 0^\circ$, VB = 0 mm).

Zhodnocením experimentů 1 – 5 bylo docíleno závěru, že nejmenší vliv na užitečný výkon mají tyto parametry:

- obráběný materiál (obr. 27), který má nejlepší obrobiteľnosť. V našem případě je to materiál EN - 536-250, jehož hodnota $P_{už1}$ dosahovala 357 ± 78 [W] a $P_{už2}$ hodnoty 457 ± 39 [W]. Téměř totožné hodnoty vykazoval materiál EN - C45,
- nižší řezná rychlost (obr. 29). V našem případě to byla řezná rychlost $v_c = 94$ m * min⁻¹, jejíž hodnota $P_{už1}$ dosahovala 344 ± 21 [W] a hodnota $P_{už2} = 477 \pm 18$ [W],
- pozitivní úhel čela γ_0 (obr. 31). Roste – li úhel čela do kladných hodnot, pak se to projeví na snížení řezné síly F_c a spolu s ní klesne i hodnota užitečného výkonu. Tento předpoklad byl při měření prokázán. Nejmenší hodnota byla zaznamenána u úhlu čela $\gamma_0 = +12^\circ$ a dosahovala hodnoty $P_{už1} = 359 \pm 27$ [W] a $P_{už2} = 571 \pm 23$ [W],
- opotřebení břitu VB (obr. 33). Podle předpokladů by mělo být opotřebení co nejmenší, protože s větším opotřebením vzrůstá řezná síla F_c a spolu s ní se zároveň zvětšuje hodnota užitečného výkonu. Tento předpoklad se však při měření neprokázal, protože nejmenší naměřená hodnota byla u opotřebení břitu VB = 0,4 mm a dosahovala hodnoty $P_{už1} = 386 \pm 18$ [W] a $P_{už2} = 636 \pm 67$ [W],
- procesní kapaliny (obr. 35). Při použití procesních kapalin by mělo dojít ke snížení řezné síly F_c a spolu s ní i hodnoty užitečného výkonu. Což bylo u měření dokázáno. Největší snížení bylo zaznamenáno u procesní kapaliny Hocut 975B, ta dosahovala hodnoty $P_{už1} = 397 \pm 14$ [W] a hodnoty $P_{už2} = 619 \pm 34$ [W]. U ostatních procesních kapalin byly zaznamenány téměř stejné hodnoty užitečného výkonu.

Zhodnocením experimentů 1 – 5 bylo zjištěno, že největší vliv na užitečný výkon mají tyto parametry:

- materiál se špatnou obrobitelností (obr. 27). V našem případě je to materiál EN – X5CrNi18 - 10, jehož hodnota $P_{už1}$ dosahovala 463 ± 3 [W] a $P_{už2}$ hodnoty 741 ± 139 [W]. Téměř totožné hodnoty vykazoval materiál EN -16MnCr5,
- vysoká řezná rychlost (obr. 29). V našem případě byl zaznamenán největší spotřebovaný užitečný výkon na obou zařízeních rozdílně. Na třífázovém analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, tedy $P_{už1}$ byl zaznamenán u rychlosti $133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a u zařízení dynamometr Kistler byla zaznamenána u rychlosti $174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Poznátka z odborné literatury uvádí, že s rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá i spotřebovaný užitečný výkon. Z tohoto poznatku bylo usouzeno, že v měření třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 došlo k chybě. Hodnota $P_{už2}$ dosahovala 806 ± 39 [W],
- negativní úhel čela γ_0 (obr. 31). V našem případě byl zaznamenán největší spotřebovaný užitečný výkon na obou zařízeních rozdílný. Na třífázovém analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, tedy $P_{už1}$ byl zaznamenán u $\gamma_0 = 0^\circ$, jeho hodnota činila 460 ± 23 [W] a u zařízení dynamometr Kistler byl zaznamenán u $\gamma_0 = -12^\circ$, jeho hodnota vyšplhala na 858 ± 94 [W]. Užitečný výkon roste, pokud klesá hodnota γ_0 do záporných hodnot. Z tohoto poznatku bylo usouzeno, že v měření třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 došlo k chybě.
- vysoké opotřebení břitu VB (obr. 33). V našem případě byl zaznamenán největší spotřebovaný užitečný výkon na obou zařízeních rozdílný. Na třífázovém analyzátoru výkonu DW 6069 – 0, tedy $P_{už1}$ byl zaznamenán u $VB = 0,0 \text{ mm}$ a u zařízení dynamometr Kistler byl zaznamenán u $VB = 0,8 \text{ mm}$. Poznátka z odborné literatury uvádí, že s rostoucím opotřebením břitu VB, vzrůstá řezná síla F_c a spolu s ní i spotřebovaný užitečný výkon. Z tohoto poznatku bylo usouzeno, že v měření třífázovým analyzátozem výkonu DW 6069 – 0 došlo k chybě. Hodnota z dynamometru Kistler, tedy $P_{už2}$ dosahovala 845 ± 43 [W], což je podle předpokladu správně.
- obrábění za sucha (obr. 35), kde byly naměřeny nejvyšší hodnoty $P_{už1} = 460 \pm 23$ [W] a $P_{už2} = 683 \pm 47$ [W].

Ze zaznamenaných hodnot a poznatků z odborné literatury se dospělo k závěru, že dynamometr Kistler je oproti zařízení třífázový analyzátor výkonu DW 6069 – 0 přesnější a spolehlivější.

Zhodnocením experimentů 1 – 5 bylo zjištěno, jaký vliv mají vybrané technologické parametry na parametry drsnosti povrchu, kterými jsou průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a , největší výška profilu R_z a materiálový poměr profilu C_{tp50} :

- materiál zkušebního vzorku (obr. 28). Nejlepší zaznamenaná drsnost povrchu byla u materiálu EN – X5CrNi18 – 10, poté následoval materiál EN - C45. Nejhorší drsnost povrchu byla zaznamenána u materiálu EN - 536-250 a EN - 16MnCr5, jejichž hodnota je téměř stejná,
- řezná rychlost v_c (obr. 30). Nejlepší dosažená drsnost povrchu byla u $v_c = 174 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, téměř totožná hodnota byla změřena u $v_c = 94,0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Nejhorší zaznamenaná drsnost povrchu, pak byla u $v_c = 133,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- úhel čela γ_0 (obr. 32). Nejlepší drsnost povrchu byla změřena u $\gamma_0 = +12^\circ$, druhá nejlepší hodnota byla změřena $\gamma_0 = -12^\circ$ a nejhorší drsnost byla zaznamenána u $\gamma_0 = 0^\circ$,
- opotřebení břitu VB (obr. 34). Nejlepší drsnost povrchu byla zaznamenána u $VB = 0,8 \text{ mm}$ a $VB = 0,4 \text{ mm}$, naopak nejhorší drsnost povrchu byla zaznamenána u $VB = 0,0 \text{ mm}$,
- procesní kapalina (obr. 36), při použití procesních kapalin došlo k výraznému zlepšení obráběného povrchu, oproti frézování za sucha.

Seznam použité literatury

- [1] GAZDA, J; aj. *Teorie obrábění: Řezné síly při obrábění*. 1. vyd. Liberec: Ediční středisko VŠST Liberec, 1993. 123 s. ISBN 80-7083-110-3.
- [2] *Technologie frézování*. [online] Šumperk 2007. Dostupné z http://www.ssztz.cz/stary_web/stary_web/esf/TEC_fr.pdf
- [3] BUDA, J, SOUČKEK, J, VASILKO, K. *Teória obrábania*. 1. vyd. ALFA Bratislava: 1983, 353 s.
- [4] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, prosinec 2005. ISBN 80-214- 3068-0.
- [5] *Skripta Technologie II, 2díl*. VŠB, [online]. Dostupné z http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [6] DRÁB, V. *Technologie I: návody ke cvičení*. Vyd. 2., opr. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988. ISBN 80-7083-006-9.
- [7] HRUBÝ, V. *Teorie obrábění*. 2. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava, 1988. 213 s.
- [8] *Pramet - Katalog* [online]. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/_spolecne/katalog_nastroju_frezovani.pdf
- [9] *TOS Olomouc - Katalog* [online]. Dostupné z: <http://www.tos-olomouc.cz/cz/>